

The European Forest Fire Information System

User Guide to EFFIS applications

Version 2.3.3, May 2018



[About EFFIS](#) [Reports and Publications](#) [Applications](#) [Partners](#) [Contact Us](#)

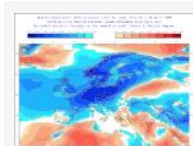
Applications



Current Situation

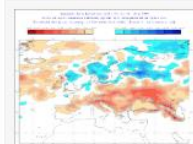
The most up to date information on the current fire season in Europe and in the Mediterranean area. This includes today meteorological fire danger maps and forecast up to 6 days, daily updated maps of hot spots and fire perimeters.

Visit the brand-new
Global Wildfire
Information System
Viewer



Long-term monthly fire weather forecast

Monthly forecast of temperature and rainfall anomalies that are expected to prevail over European and Mediterranean areas.



Long-term seasonal fire weather forecast

Seasonal forecast of temperature and rainfall anomalies that are expected to prevail over European and Mediterranean areas.



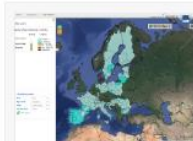
Fire News

A selection of news from the press on wildland fires in Europe updated daily by the EFFIS team. News can be browsed for specific countries selected by the user from the news map.



Data and services

Country totals (burnt areas & number of fires) per year, as published in the Forest Fires in Europe, North Africa and Middle East reports.



Fire History

Build customized maps of historical fire incidence querying the European Fire Database on number of fires, burned area and average fire size of selected years.

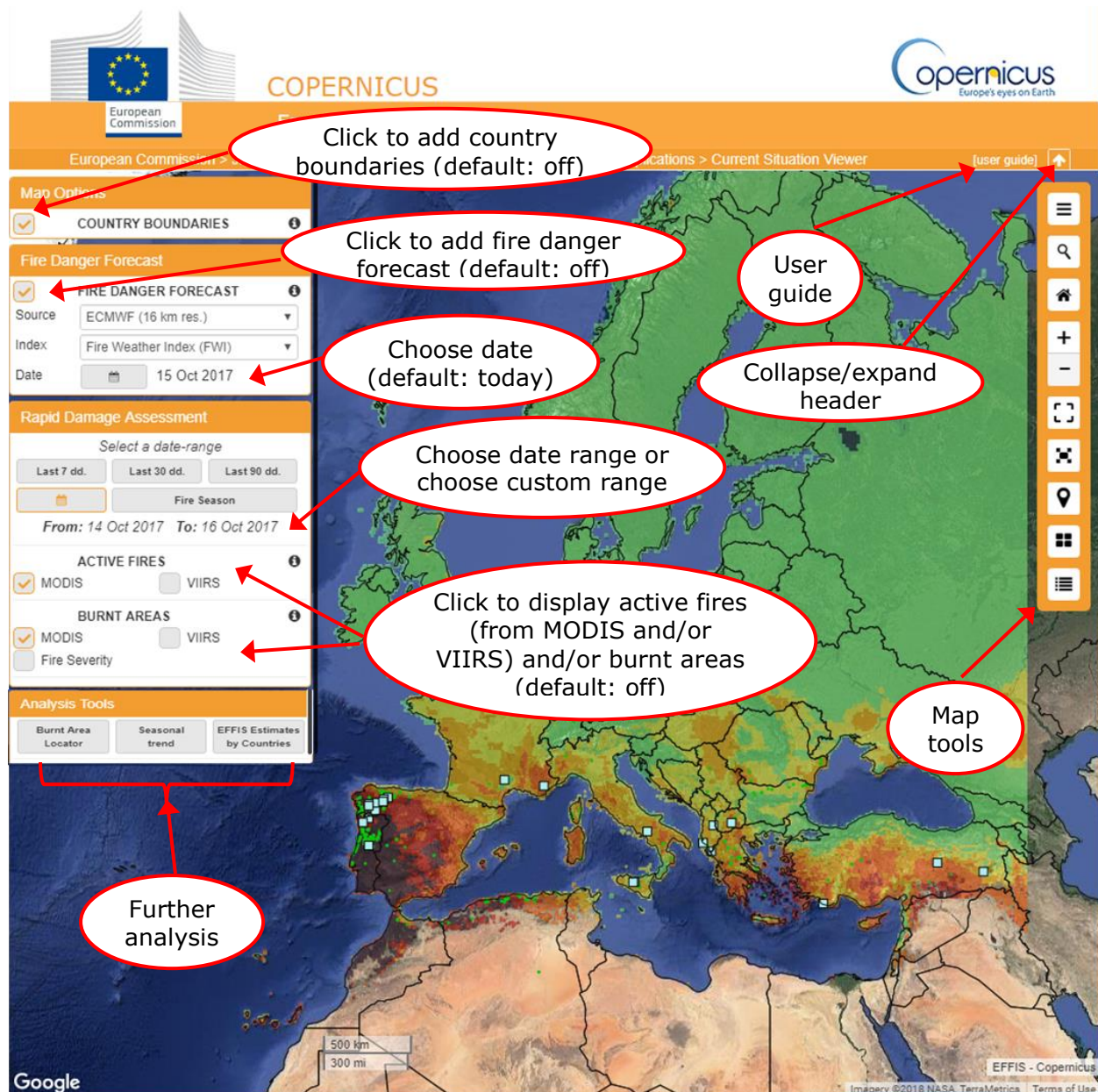
Contents

Current Situation Application	3
Map Tools	4
Layer controls	5
Analysis tools	6
Seasonal Trend.....	7
EFFIS Estimates per country	7
Working on the display of the “Current Situation Viewer”	8
Fire Danger Assessment	8
Active Fire Information	9
Burnt Area Information.....	10
Additional information	12
Long-term monthly forecast of temperature and rainfall anomalies	16
Monthly forecast – additional information.....	17
Long-term seasonal forecast of temperature and rainfall anomalies	18
Seasonal forecast – additional information	19
Fire News Application	20

Current Situation Application

The current situation enables the user to view and query map layers, giving an indication of the fire situation across Europe for the current date and surrounding short term time frame. The application can also be used to view the situation in past years from 2014.

Overview



Map Tools

A set of map tools are on the right side of the map image.

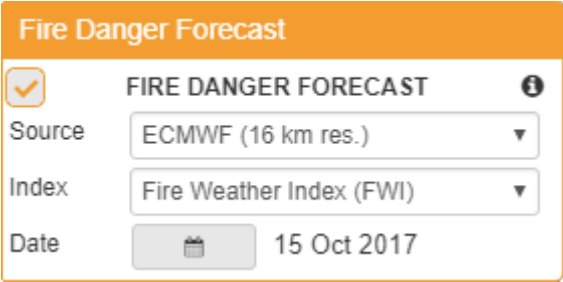
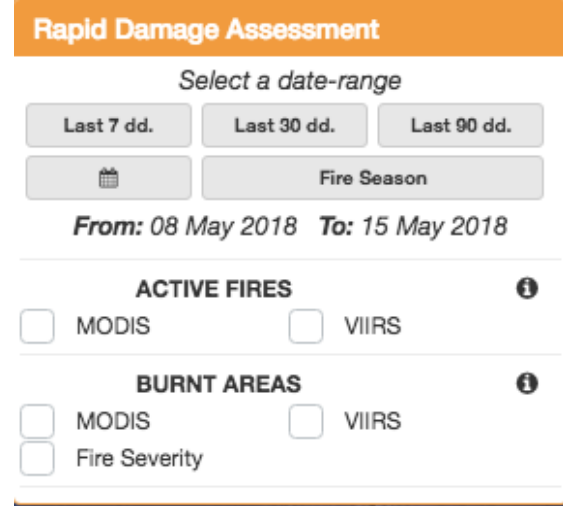
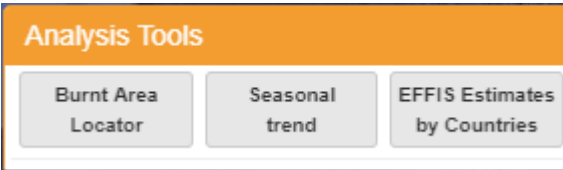
The following table explains how the tools work.

Tool	Icon	Details
Open/close layers sidebar		Shows or hides the options bars on the left of the screen. Click once to hide, click again to show.
Search		Opens a box to search for place names
Reset map		Returns the map to the original extent covering Europe
Zoom in/out		Click to increase or decrease resolution. The same effect can also be obtained using the roller button on the mouse.
Zoom to specific area		Click and use the mouse to highlight a specific area for the zoom
Full screen		Click to put map on whole screen. Click again to restore to previous view.
Show me where I am		Click to zoom in on current location (may not work if permission has not been granted to the browser to find location)
Switch base layer		Default layer is GoogleMap Satellite . Other alternatives are: •GoogleMap Hybrid •OpenStreetMap •Open TopoMap •OpenMapSurfer_Roads •Country_Boundaries.
Show legend		Opens a box on the screen with the legends for all the layers that are currently displayed.

Layer controls

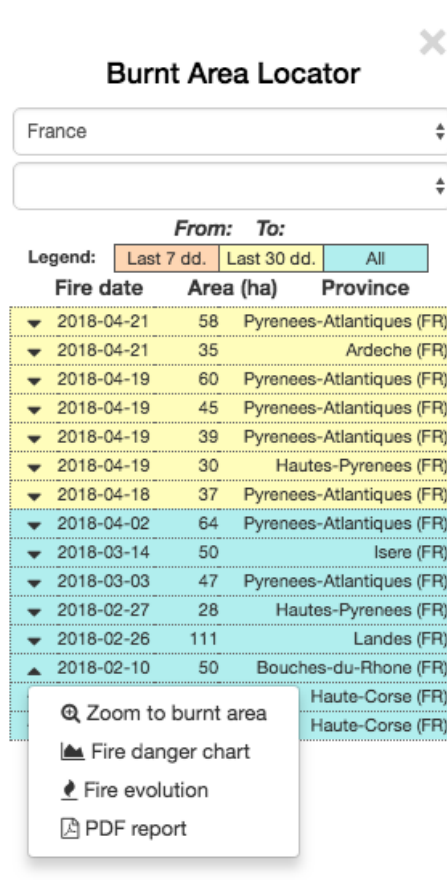
On the left of the map are 3 windows containing the map options.

In all cases clicking on ⓘ opens a new screen containing detailed information. (See Appendix on page 13 for full text of information on the burnt areas and active fires).

Icon	Details
	Adds or removes country boundaries on the map.
	Displays Fire Danger information Source: Choose from ECMWF (default) or Meteo France. Index: choice of 8" • Fire Weather Index (FWI) - default • Initial Spread Index (ISI) • Build up Index (BUI) • Fine Fuel Moisture Code (FFMC) • Duff Moisture Code (DMC) • Drought Code (DC) • Ranking (percentile vs historical 30 years values) • Anomaly (standard deviation with respect to a 30 year average) Date: Choice of today, up to 8 days in the future or any date in the past back to 2014.
	Displays active fires and burnt area information The data range must be selected from the pre-calculated ranges or a custom range. Active fires may be displayed from MODIS, VIIRS or both together (ⓘ gives details about each of them. The information is also shown in this guide on page 13). Burnt areas can be displayed from MODIS, VIIRS or both. (instead of or together with active fires). Additional information on Fire Severity can be displayed on top of the burnt areas (ⓘ gives details about each of them. The information is also shown in this guide on page 13).
	The three buttons in this section open up a window at the right of the screen for more detailed analyses (described in full below)

Analysis tools

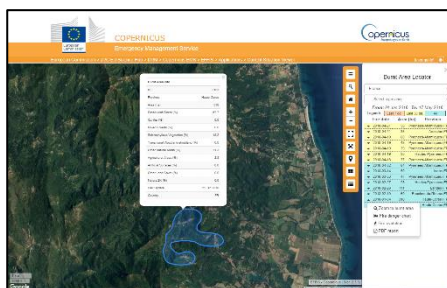
Burnt Area Locator



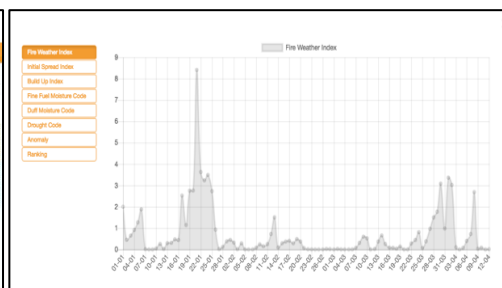
The **Burnt Area Locator** tool allows you to choose a country and a province to see the details of the fires that have been recorded there over the current season as in the example below. Fires are colour coded depending on how recently they occurred. The time range for the display must be selected at the "Rapid Damage Assessment" menu, on the left-hand side of the EFFIS display.

An arrow on the left of the fire list, allows you to select the retrieval of 4 types of information on the single fire (see Figure 1):

- (1) Zoom to the burnt area (Figure 1a),
- (2) Fire danger chart at the fire location (Figure 1b)
- (3) fire evolution of the burnt area and information on the damage assessment (Figure 1c) and
- (4) pdf single-fire report with all the details of the event.



(a)



(b)



(c)

Figure 1. Burnt area locator – detailed information per single fire.

Seasonal Trend

Seasonal trend

The tool opens a window showing the current season's cumulative burnt areas or number of fires mapped in EFFIS against the long-term average 2008-2017 (see Figure 2). Please note that the fires mapped in EFFIS are those of approximately 30 ha or larger. Data are available for total EU, European non-EU, Middle East and North Africa (MENA) and individual countries. The weekly data displayed on the graph are provided below the graph in table format.

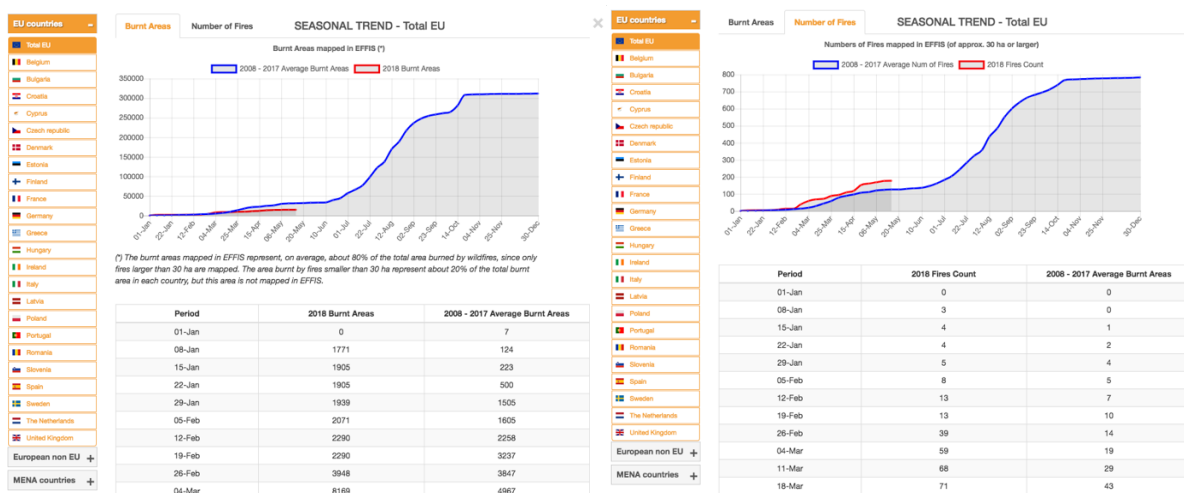


Figure 2. Seasonal trend of burnt areas and number of fires mapped in EFFIS.

EFFIS Estimates per country

EFFIS Estimates per Countries

The tool displays the cumulative number of fires mapped in EFFIS or burnt areas from the start of the year with the 10-year average for each of the countries covered (see Figure 3). The countries are ordered from the highest to the lowest values of number of fires or burnt areas mapped in EFFIS during the current season. The values displayed on the graph are provided in table format below the graph. The last column of the table provides the ratio of the values in the current season to the long-term average.

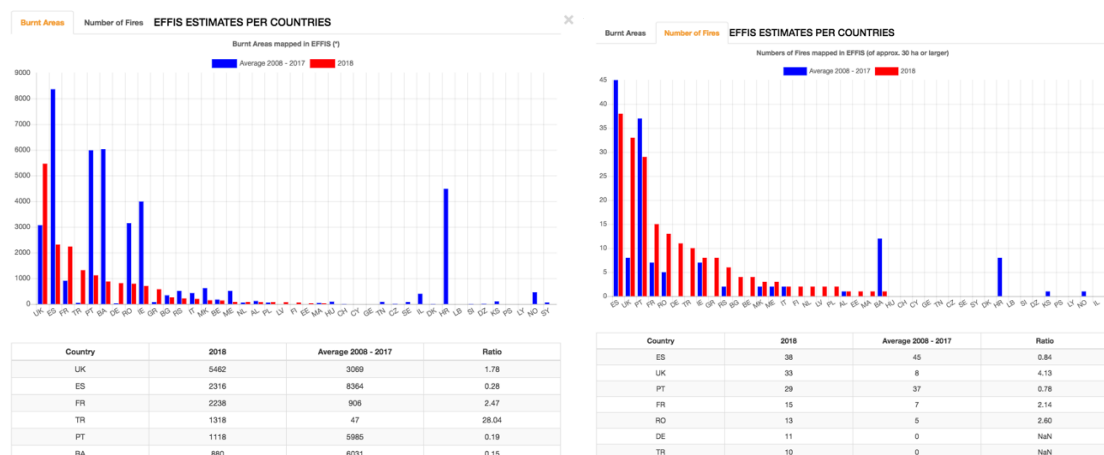


Figure 3. EFFIS estimates by country.

Working with the “Current Situation Viewer”

Fire Danger Assessment

Click in the small box (upper left) of the Fire Danger Forecast menu to display the Fire Weather Index (default index).

The right button of the mouse allows the user to display information for a single location (Figure 4a). This:

- (1) Displays layer information (Figure 4b) (all the fire danger indices for the location),
- (2) Displays the chart of the fire danger indices (Figure 4c) and
- (3) centres the map at the location (Figure 4d).

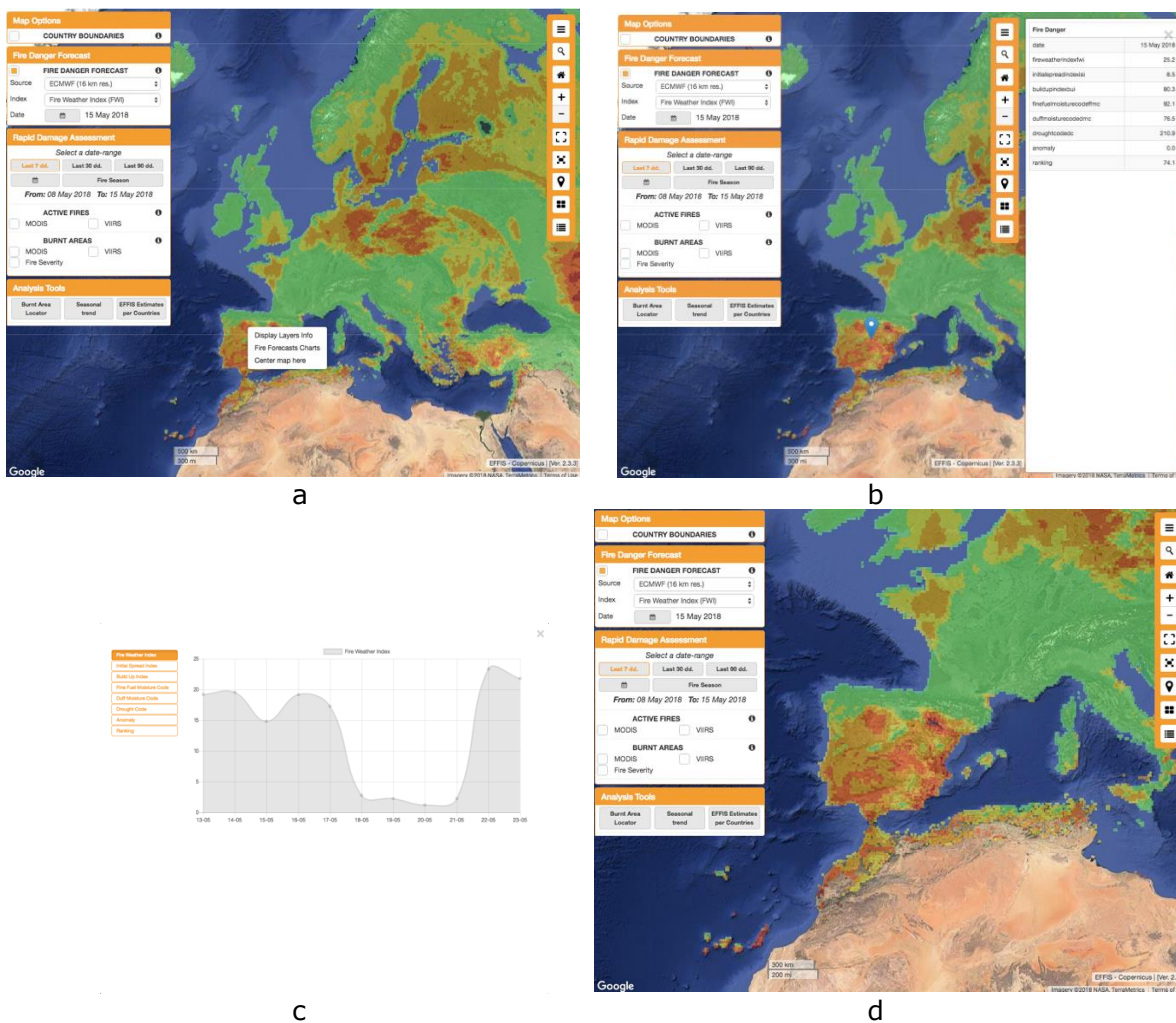


Figure 4. Fire danger information display on the current situation viewer.

Active Fire Information

First, select a range of days for which the active fire information will be displayed. Then click on MODIS, VIIRS or both to display active fires. Active fires are colour-coded according to the period in which they were recorded by the satellite sensor into: green (older than 90 days), blue (last 90 days), orange (last 7 days) and red (last 24 hours) (see Figure 5a).

The right button of the mouse placed on the active fire allows the user to display the lat/long position of the active fire (Figure 5b & Figure 5c) and the fire danger charts on the fire location (Figure 5d).

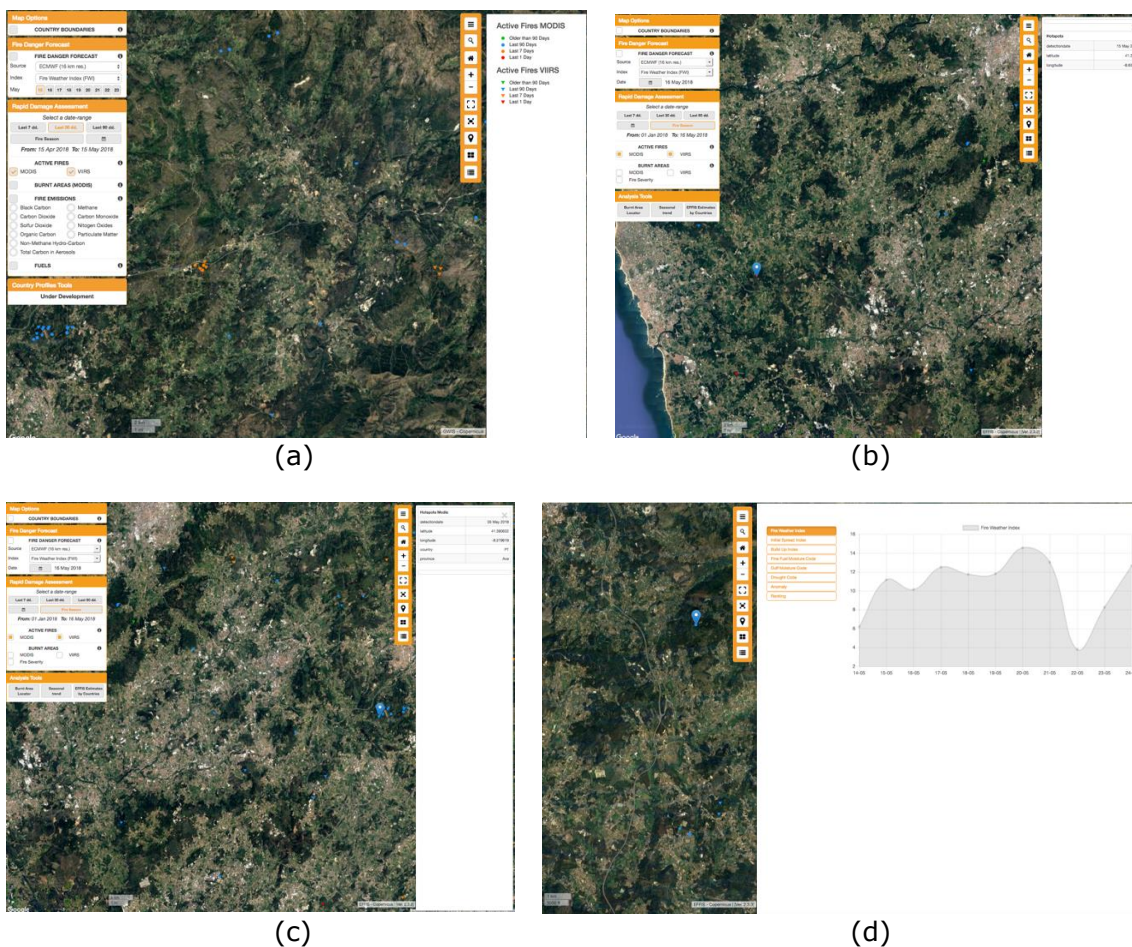
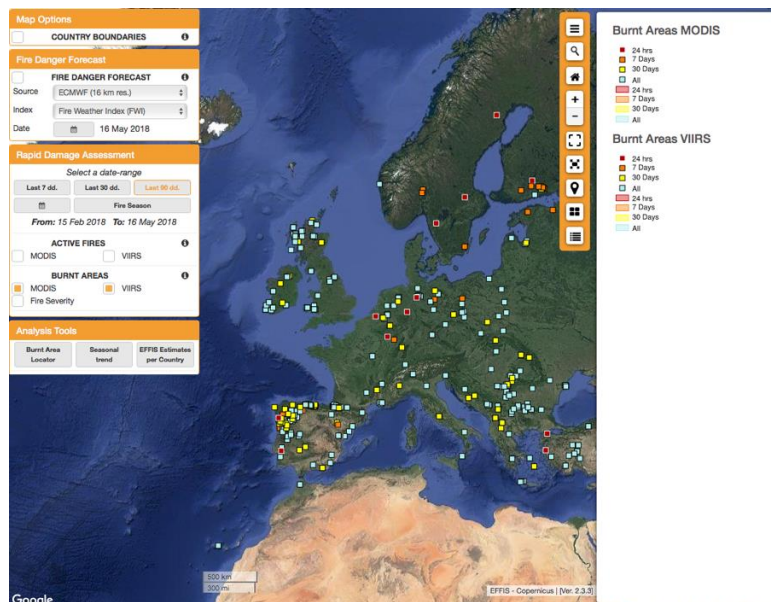


Figure 5. Information on active fires in the “current situation viewer”

Burnt Area Information

First, select a range of days for which the burnt area information will be displayed. Then click on MODIS, VIIRS or both to display burnt areas. Burnt areas are color-coded according to the period in which they were recorded by the satellite sensor into: green (older than 90 days), blue (last 90 days), orange (last 7 days) and red (last 24 hours) (see Figure 5a).



Burnt area perimeters can be displayed for MODIS, VIIRS, or for both sensors (see Figure 6).

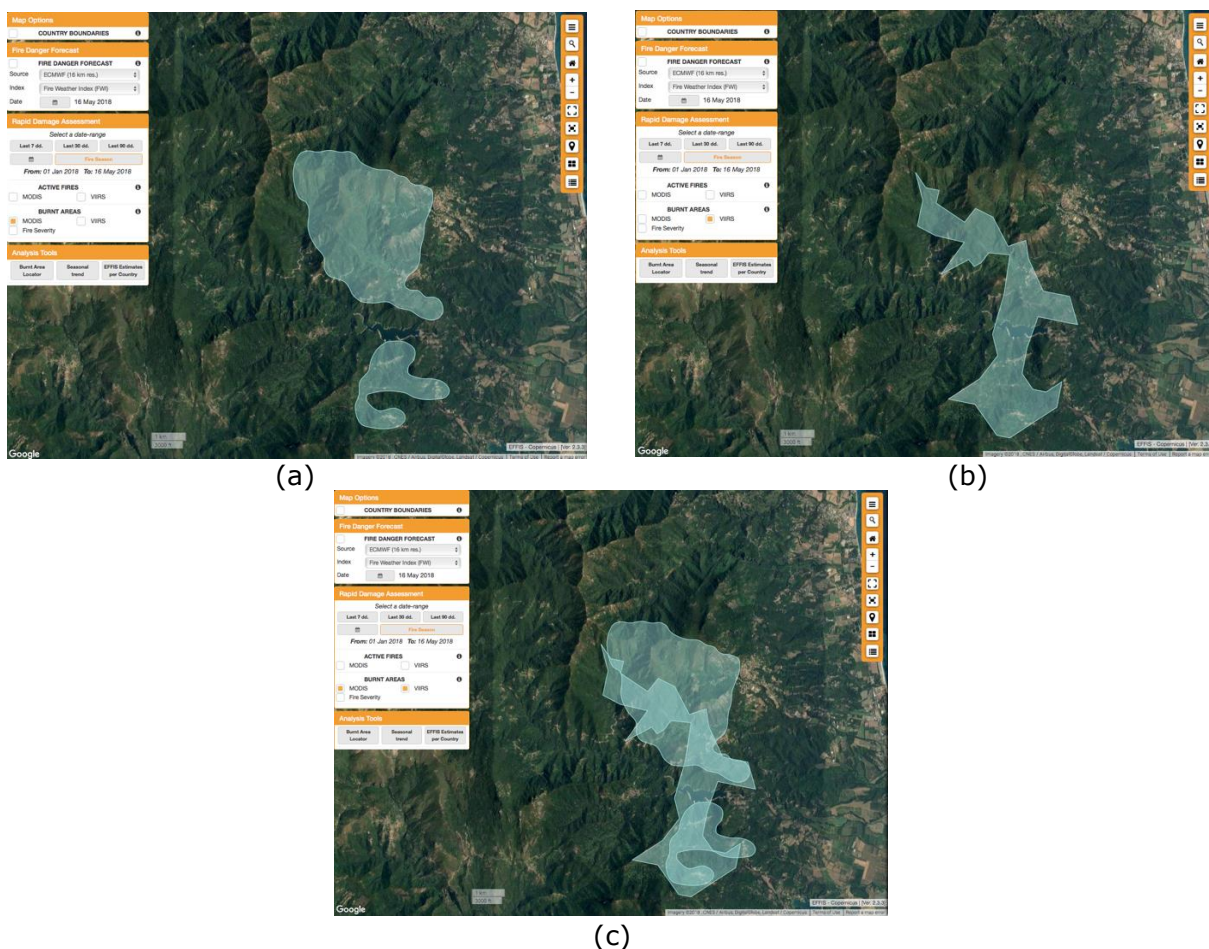


Figure 6. Display of burnt area perimeters.

When selecting a single fire on the screen, it is possible for the user to display additional information for the single fire using the right button of the mouse for those perimeters mapped with MODIS data, only. The information that can be displayed is shown in Figure 7. This information includes: (a) available data for the single feature, (b) Display layer information (details of the land cover types damaged by the fire), (c) Display Fire Danger Charts (Fire danger situation around the current date).

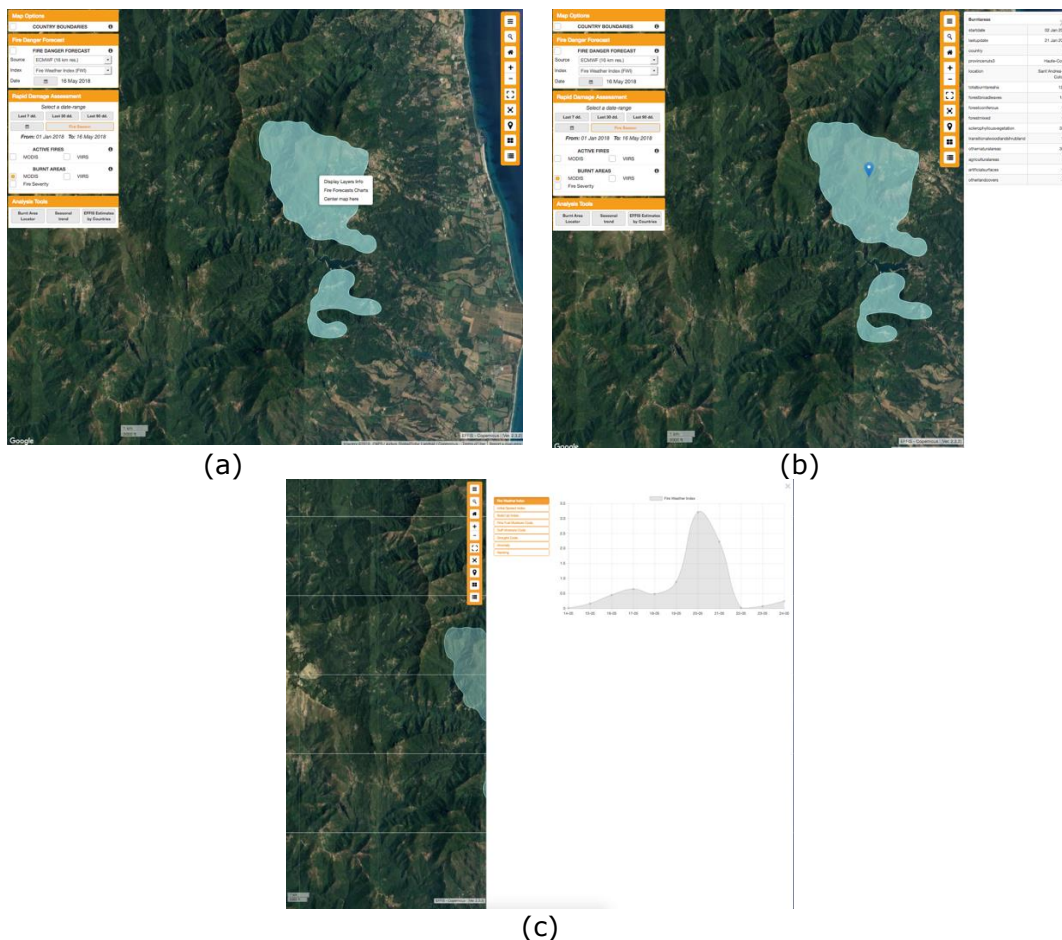
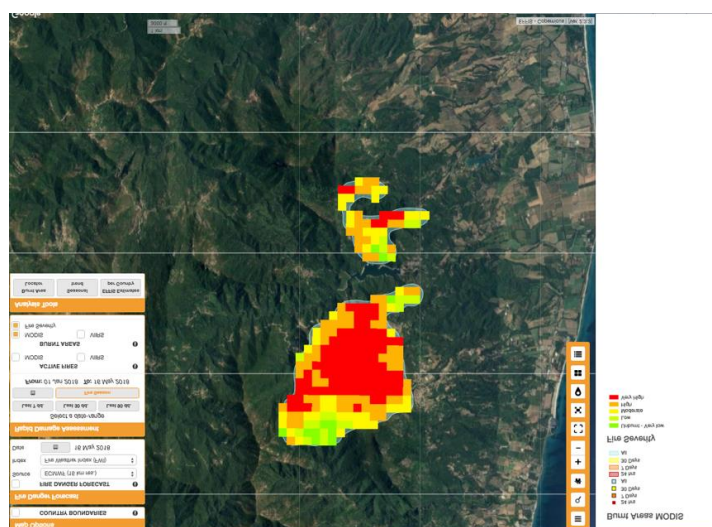


Figure 7. Display of additional information with the use of the right button of the mouse.

Additionally, it is possible to display the layer of fire severity on top of the burnt area perimeter, by clicking on the "fire severity" box in the menu.



Additional information

Fire Danger Forecast

i The fire danger forecast module of EFFIS generates daily maps of 1 to 10 days of forecasted fire danger level using numerical weather predictions. The module is active all year around, although the core of the wildfire season is, in most countries, from 1st of March to 31st of October

EFFIS normally operates using meteorological forecast data received daily from 3 systems, the European Centre for Medium-Range Weather Forecast (ECMWF), French (MeteoFrance).

After a test phase of 5 years, during which different fire danger indices were implemented to compute fire danger, in 2007 the EFFIS network has adopted the Canadian Forest Fire Weather Index (FWI) System as the method to assess the fire danger level in a harmonized way throughout Europe.

Fire danger is mapped in 6 classes (very low, low, medium, high, very high and extreme) with a spatial resolution of about 16 km (ECMWF data), 10 km (MF data) and 36 km (DWD data). The fire danger classes are the same for all countries and maps show a harmonized picture of the spatial distribution of fire danger level throughout EU.

The following are the FWI values used as thresholds of the fire danger classes in the map:

Fire Danger Classes	FWI ranges (upper bound excluded)
Very low	< 5.2
Low	5.2 - 11.2
Moderate	11.2 - 21.3
High	21.3 - 38.0
Very high	38.0 - 50.0
Extreme	>= 50.0

The maps of forecasted fire danger level can be consulted through the web mapping interface of EFFIS and are also emailed daily to the users.

i Active Fire Detection

Active fires are located on the basis of the so-called thermal anomalies produced by them. The algorithms compare the temperature of a potential fire with the temperature of the land cover around it; if the difference in temperature is above a given threshold, the potential fire is confirmed as an active fire or "hot spot."

EFFIS uses the active fire detection provided by the NASA FIRMS (Fire Information for Resource Management System).

MODIS Active fires

The MODIS sensor, on board the TERRA and ACQUA satellites, identifies areas on the ground that are distinctly hotter than their surroundings and flags them as active fires. The difference in temperature between the areas that are actively burning with respect to neighbouring areas allows active fires to be identified and mapped. The spatial resolution of the active fire detection pixel from MODIS is 1 km.

Additional information on the MODIS active fire product is available at <https://earthdata.nasa.gov/what-is-new-collection-6-modis-active-fire-data>

VIIRS Active fires

The MODIS sensor, on board the TERRA and ACQUA satellites, identifies areas on the ground that are distinctly hotter than their surroundings and flags them as active fires. The difference in temperature between the areas that are actively burning with respect to neighbouring areas allows active fires to be identified and mapped. The spatial resolution of the active fire detection pixel from MODIS is 1 km.

Additional information on the MODIS active fire product is available at

<https://earthdata.nasa.gov/earth-observation-data/near-real-time/firms/viirs-i-band-active-fire-data>

The mapping of active fires is performed to provide a synoptic view of current fires in Europe and as a means to help the subsequent mapping of burnt fire perimeters. Information on active fires is normally updated 6 times daily and made available in EFFIS within 2-3 hours of the acquisition of the MODIS/VIIRS images.

When interpreting the hotspots displayed in the map, the following must be considered:

- Hotspot location on the map is only accurate within the spatial accuracy of the sensor;
- Some fires may be small or obscured by smoke or cloud and remain undetected;
- The satellites also detect other heat sources (not all hotspots are fires);

To minimize false alarms and filter out active fires not qualified as wildfires (e.g. agricultural burnings), the system only displays a filtered subset of the hotspots detected by FIRMS. To this end a knowledge based algorithm is applied that takes into account the extent of surrounding land cover categories, the distance to urban areas and artificial surfaces, the confidence level of the hotspot.

With the identify feature tool, key information attached to each active fire is provided such as geographic coordinates, administrative district (commune and province) and the main land cover category affected.

Rapid Damage Assessment

The Rapid Damage Assessment (RDA) module of EFFIS was initially implemented in 2003 to map burned areas during the fire season, by analyzing MODIS daily images at 250 m spatial resolution. For the monitoring of burned areas during the summer, daily images from the MODIS instruments on board of TERRA and AQUA satellites are acquired and processed few hours after the acquisition. The EFFIS Rapid Damage Assessment provides the daily update of the perimeters of burnt areas in Europe for fires of about 30 ha or larger, twice every day. Since the year 2016, the RDA incorporates the mapping of active fires and burnt areas from the VIIRS Sensor, onboard the NASA/NOAA Suomi National Polar-orbiting Partnership (SNPP), which allows the update of burnt areas maps one more time, every day.

MODIS Burnt Areas

IMPORTANT NOTE - For any use of the EFFIS Burnt Area product the conditions listed below must be taken into consideration:

- The product is derived from the daily processing of MODIS satellite imagery at 250 m ground spatial resolution.
- The perimeters of the burned scars in the represent areas burned by fires as detected from MODIS satellite imagery. Therefore, no distinction is made between wildland fires, environmental burnings or prescribed fires.
- Burnt scars of approximately 30 hectares in size are mapped, although the product may also include the perimeters of burned areas of smaller dimension.
- Small burnt or un-burnt areas below the spatial resolution of the MODIS imagery are not mapped; these may include small unburned islands inside the burnt area perimeter.
- The Burnt Area product is updated up two times every day. The perimeter of burnt areas due to different fires happening between two sequential updates may be merged into a single perimeter.
- The dates reported as Start date and Last update may not correspond to the date of ignition and extinction of the fire
- The EFFIS burnt area product is intended to provide estimates of burnt areas at European level. Caution should be taken when comparing this product to other data that may have been produced using different methodologies and scopes.
- Although the burnt area perimeters are overlaid on the Google imagery, it must be noted that the original EFFIS product is produced at 250 m spatial resolution, not at the resolution of the underlying Google images.

Although only a fraction of the total number of fires is mapped, the area burned by fires of this size represents about 75% to 80% of the total area burned in EU. Modelling historical fire data from the EFFIS European fire database, equations have been set up for the different countries, which make it possible to predict the total area burned with good accuracy; that is, the total burnt area in a country is obtained as a function of the area burned by fires larger than 30 ha.

In order to obtain the statistics of the burnt area by land cover type, the data from the CORINE Land Cover database are used. Therefore the mapped burned areas are overlaid to land cover maps, allowing an assessment of damage to be made that is harmonized for all the European Countries.

The burnt area mapping in the RDA is based on the identification of active large fires from the MODIS, the expansion of the burnt areas from these initial points on the basis of region-growing algorithms, and the refinement of the final perimeter of the fire through visual interpretation of the images. The process is aided by the systematic collection of fire news from a variety of media. An alternative to the current methodology is being developed. This method is based on abrupt post-fire vegetation change detected from MODIS daily time series. Once implemented, this method will allow for a better and less user-dependent classification of the burned areas.

VIIRS Burnt Areas

Data from the VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite) on board the NASA/NOAA Suomi National Polar-orbiting Partnership (SNPP) are also used for the mapping of burnt areas in EFFIS. The perimeters of the fires derived from VIIRS are generated using algorithms that derive polygons on the basis of the active fires retrieved from this sensor. Accordingly, the fire perimeters are directly derived from the coordinates of active fires, which permits a near-real time processing, even in light cloudy or smoke situations.

These fire perimeters are thus produced just after the pass of the satellite and the acquisition of the data, without the need to perform the classification of the satellite imagery. Since the procedure is automatic and based on delineating polygons, the fire perimeters may have sharper shapes than those produced from the classification of MODIS imagery (above section). For the spatial resolution of the fire perimeters, it must be noted that the nominal spatial resolution of VIIRS is 375 m.

VIIRS derived data on burnt areas are not yet used in EFFIS to compute burnt area statistics; they are only displayed in the EFFIS "current situation viewer."

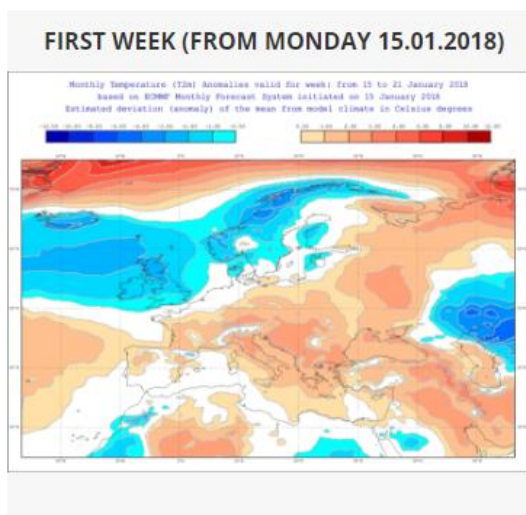
Long-term monthly forecast of temperature and rainfall anomalies

This page shows temperature and rainfall anomalies that are expected to prevail over European and Mediterranean areas during the next 2 weeks. This service started in April 2014; these weekly anomalies shown will be updated every week during the fire season. Normally in the beginning of each week a forecast for the next 2 weeks will be made available.

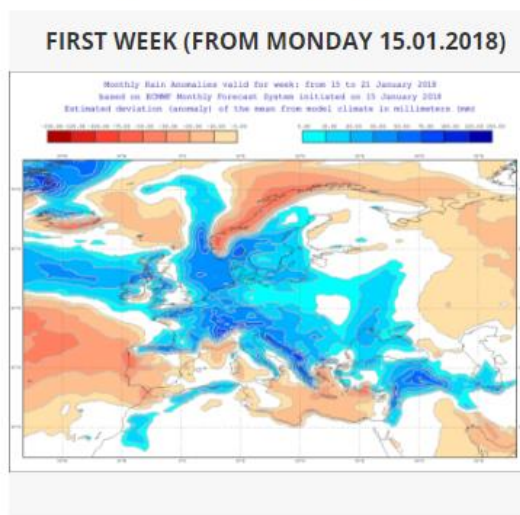
The maps are based on the ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) Monthly Forecast System (MFS) and are provided to EFFIS users as experimental products. MFS anomalies of temperature and rainfall are estimated from the mean deviation of the monthly forecast from the model climate. The maps highlight the areas which are expected to be colder/warmer and dryer/wetter (than normal) over Europe and Mediterranean countries, with an obvious linkage to potentially higher forest fire danger.

Additional details on monthly forecasting can be found below, while detailed technical illustration of the Monthly Forecast System MFS can be consulted on the related pages of the ECMWF web site (<https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/set-vi>.)

Temperature anomalies



Rain anomalies



Clicking on any of the images will give a zoomed-in view. Click again to restore the image to the smaller size.

Monthly forecast – additional information

Two ensemble forecasting systems are currently operational at ECMWF: (1) the EPS (Ensemble Prediction System) for medium-range weather forecasting and (2) the seasonal forecasting (Seasonal Forecast System, so-called: S4). The EPS produces weather forecasts out to 15 days, whereas seasonal forecasting (S4) produces forecasts out to 7 months.

The two systems have different physical bases. Medium-range weather forecasting (EPS) is essentially an atmospheric initial value problem. Since the time scale is too short for variations in the ocean significantly to affect the atmospheric circulation, the ECMWF medium-range weather forecasting system is based on atmospheric-only integrations. Sea Surface Temperatures (SSTs) are simply persisted.

Seasonal forecasting (S4), on the other hand, is justified by the long predictability of the oceanic circulation (of the order of several months) and by the fact that the variability in tropical SSTs has a significant global impact on the atmospheric circulation. Since the oceanic circulation is a major source of predictability in the seasonal scale, the ECMWF seasonal forecasting system is based on coupled ocean-atmosphere integrations. Seasonal forecasting is also an initial value problem, but with much of the information contained in the initial state of the ocean.

It becomes obvious that between EPS and S4 there exists a certain gap. The main goal of the experimental monthly forecasting is to fill the gap between these systems and produce forecasts for the time range 10 to 30 days. The time range 10 to 30 days is probably still short enough that the atmosphere retains some memory of its initial state and it may be long enough that the ocean variability has an impact on the atmospheric circulation.

Therefore, the monthly forecasting system, so-called: MFS (Monthly Forecast System) has been built as a continuation of the medium-range VAREPS (VARIABLE Resolution EPS), but in ocean-atmospheric coupled mode after day 10.

For technical reasons it is not possible to couple EPS from day 0 at present but it should be possible when the next ocean system is implemented.

Furthermore, an important source of predictability over Europe in the 10-30 day range is believed to originate from the Madden Julian Oscillation (MJO). The MJO is a 40-50 day tropical oscillation. Several works suggest that the ocean-atmosphere coupling has a significant impact upon the speed of propagation of an MJO event in the Indian Ocean and western North Pacific. The use of a coupled system after day 10 may therefore help to capture some aspects of the MJO variability.

Long-term seasonal forecast of temperature and rainfall anomalies

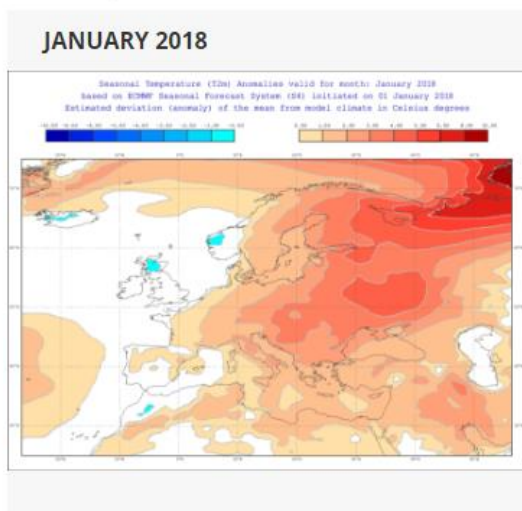
This page shows temperature and rainfall anomalies that are expected to prevail over European and Mediterranean areas during the next 7 months. This service started in June 2013; the set of 7 months shown will be updated monthly during the fire season. Normally within the first week of each month a forecast for the next 2 months will be made available.

The maps are based on the ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) Seasonal Forecasting System named S4 (System 4) and are provided to EFFIS users as experimental products. S4 anomalies of temperature and rainfall are estimated from the mean deviation of the seasonal forecast from the model climate. The maps highlight the areas which are expected to be colder/warmer and dryer/wetter (than normal) over Europe and Mediterranean countries, with an obvious linkage to potentially higher forest fire danger.

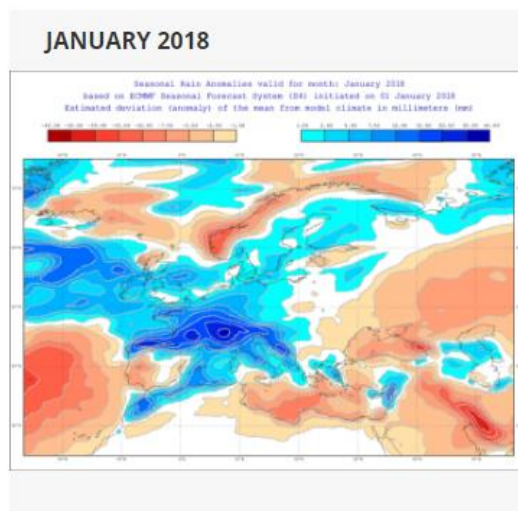
Please take into account that the longer the forecast horizon, the less accurate the forecast will be.

Additional details on seasonal forecasting can be found below, while detailed technical illustration of the Seasonal Forecast System S4 can be consulted on the related pages of the ECMWF web site <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/set-vi>.)

Temperature anomalies



Rain anomalies



Clicking on any of the images will give a zoomed-in view. Click again to restore the image to the smaller size.

Seasonal forecast – additional information

Seasonal forecasting attempts to provide useful information about the "climate" that can be expected in the coming months. The seasonal forecast is not a weather forecast: weather can be considered as a snapshot of continually changing atmospheric conditions, whereas climate is better considered as the statistical summary of the weather events occurring in a given season.

Despite the chaotic nature of the atmosphere, long term predictions are possible to some degree thanks to a number of components which themselves show variations on long time scales (seasons and years) and, to a certain extent, are predictable. The most important of these components is the ENSO (El Niño Southern Oscillation) cycle, which refers to the coherent, large-scale fluctuation of ocean temperatures, rainfall, atmospheric circulation, vertical motion and air pressure across the tropical Pacific. El Niño episodes (also called Pacific warm episodes) and La Niña episodes (also called Pacific cold episodes) represent opposite extremes of the ENSO cycle. The ENSO cycle is the largest known source of year-to-year climate variability.

Changes in Pacific sea surface temperature (SST) are not the only cause of predictable changes in the weather patterns. There are other causes of seasonal climate variability. Unusually warm or cold sea surface temperatures in the tropical Atlantic or Indian Ocean can cause major shifts in seasonal climate in nearby continents.

In addition to the tropical oceans, other factors that may influence seasonal climate are snow cover and soil wetness. All these factors affecting the atmospheric circulation constitute the basis of long-term predictions.

Overall, seasonal forecasting is justified by the long predictability of the oceanic circulation (of the order of several months) and by the fact that the variability in tropical SSTs has a significant global impact on the atmospheric circulation.

Seasonal forecasts provide a range of possible climate changes that are likely to occur in the season ahead. It is important to bear in mind that, because of the chaotic nature of the atmospheric circulation, it is not possible to predict the daily weather variations at a specific location months in advance. It is not even possible to predict exactly the average weather, such as the average temperature for a given month.

The European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) Seasonal Forecasting System (S4) is based on a global model which, since the oceanic circulation is a major source of predictability in the seasonal scale, is based on coupled ocean-atmosphere integrations.

The S4 has a surface grid with 80 km spacing representing large scale weather patterns. Local weather and climate is much influenced by features too small to be included in the relatively low-resolution model (hills, coastlines, land surface properties). Thus, trying to read off local values from the maps could be very misleading.

The seasonal forecasts consist of a 51-member ensemble. The ensemble is constructed by combining the 5-member ensemble ocean analysis with SST perturbations and the activation of stochastic physics. The forecasts have an initial date of the 1st of each month, and run for 7 months.

Every seasonal forecast model suffers from bias - i.e., the climate of the model forecasts differs to a greater or lesser extent from the observed climate. Since shifts in predicted seasonal climate are often small, this bias needs to be taken into account, and must be estimated from a previous set of model integrations. Forecast monthly mean anomalies (of temperature and rain) are calculated relative to a climate mean formed from the appropriate 1981-2010 re-forecasts. The set of re-forecasts (otherwise known as hindcasts or back integrations) are made starting on the 1st of every month for the years 1981-2010. They are identical to the real-time forecasts in every way, except that the ensemble size is only 15 rather than 51.

Fire News Application

The purpose of this application is to display geo-located news items about forest fires from a number of sources. News items are added to the map daily by team members during the fire season. The resulting list can be sorted by any of the displayed variables and filtered by date, size class or country.

[N.B. It is important to note that not all fires are displayed here: only those with an identifiable location. Fires are not always reported individually in the press, as the amount written about them depends on other current world events].

Click on a point on the map to give a link to the original news item associated with that point.

Click on the name in the list for a table with details of the fire and a close-up of the map.

By default the display shows fires occurring in the last week, but the From and To boxes can be used to select other time periods – even for past years. The Search box allows the user to narrow down the display from among the total selected in the date filters.

The screenshot displays the Firenews application interface. On the left is a sidebar menu with options: EFFIS, About EFFIS, Reports and Publications, Applications, Current Situation, Long-term fire weather forecast, Fire History, Firenews, Data and Services, Global Wildfire Information System (beta viewer), and EFFIS Member Area. The main area features a map of Europe with red dots indicating fire locations. A search bar and date filters (From: 28/04/2017, To: 05/05/2017) are present. Below the map is a table of fire details.

Country	Place	Size	Update	Critical	News
Belgium	Sart-Tilman	20	May 3, 2017	False	1 News linked
France	Mondon	5	May 2, 2017	False	1 News linked
France	Saint-Amand-les-Eaux	5	May 2, 2017	False	1 News linked
Greece	Maries, Zakynthos	80	May 2, 2017	False	2 News linked
Greece	Nea Roumata, Chania	10	May 2, 2017	False	1 News linked
Greece	Vourkoti, Andros	6	May 4, 2017	False	1 News linked
Italy	Sicacca	6	May 2, 2017	False	1 News linked
Italy	Torre Bianca		May 3, 2017	False	1 News linked
Italy	Vallesotana/Monticelli		May 4, 2017	False	1 News linked
Turkey	Samandran, Hatay	5	May 2, 2017	False	1 News linked

Below the table, it states "10 fires selected (with 11 related news). Get this KML". There are filters for Size Class (All, N.A., Small, Medium, Large, Major) and Country (All, France, Greece, Italy, Portugal, Spain, Turkey). A detailed view of the fire in Sicacca, Italy, is shown on the right, including a close-up map and a list of linked news items.

高精度な森林情報の整備・活用のための
リモートセンシング技術や
その利用方法等に関する手引き

平成 30 年 3 月

林野庁

目 次

1. 手引きの概要	1
1.1 手引きの目的	1
1.2 手引きの構成	1
1.3 リモートセンシング技術の概要	2
2. 利用目的に応じたリモートセンシング技術の活用	5
2.1 森林資源量の調査	5
2.2 既設路網の把握・新たな路網開設計画の作成	17
2.3 森林境界の明確化	23
3. 光学衛星画像	29
3.1 技術的特徴	29
3.2 データ取得方法	32
3.3 代表的な機器	36
4. 空中写真	37
4.1 技術的特徴	37
4.2 データ検索方法	40
4.3 代表的な機器	42
5. 航空レーザ	43
5.1 技術的特徴	43
5.2 データ取得方法	47
5.3 代表的な機器	49
6. UAV 写真	50
6.1 技術的特徴	50
6.2 UAV 飛行に関するガイドライン	53

6.3 データ取得方法	56
6.4 SfM 解析代行サービス	57
6.5 代表的な機器	58
7. UAV レーザ	59
7.1 技術的特徴	59
7.2 代表的な機材	62
8. 地上レーザ	63
8.1 技術的特徴	63
8.2 データ取得方法	66
8.3 代表的な機材	66
9. 導入事例	68
9.1 リモートセンシング技術導入事例調査	68
9.2 導入事例集	77
10. リモートセンシングデータを活用するためのソフトウェア	89
10.1 GIS ビューワー	92
10.2 解析ソフト	94
用語集	107
参考文献	114

1. 手引きの概要

1.1 手引きの目的

我が国の森林は小規模零細な所有構造であり、意欲ある担い手が複数の所有者の森林を取りまとめて施業を実施する集約化の取り組みを進めていく必要があるが、森林所有者の高齢化や世代交代が進む中で、所有者の特定が困難となる課題が顕在化し始めていることから、平成 28 年の森林法改正により林地台帳制度が創設され、市町村が森林所有者に関する情報を整備する仕組みが整えられたところである。

森林施業の集約化を効率的に進めるためには、森林所有者・境界の明確化と併せて、森林資源に関する精度の高い情報の整備・活用が不可欠であるが、人工林を主体とした充実した森林資源の積極的な活用を進めている中で、従来の現地調査を主体とした資源把握方法では限界があることから、最新の ICT を活用した資源把握等の取組を積極的に推進していく必要がある。

こうした中、平成 28 年 5 月に閣議決定された森林・林業基本計画において、「リモートセンシングやクラウド[※]等の ICT の活用を進め、森林資源情報等の精度向上を図る」こととされているほか、平成 29 年 3 月に閣議決定された地理空間情報活用推進基本計画（第 3 期）においても、地理空間情報の活用推進に関する具体的政策として、「高精度な地理空間情報の高度な活用による新産業・新サービスの創出」の部分に、「最新の森林計測技術やクラウド技術等を活用した林業の成長産業化」が位置づけられているところである。

リモートセンシング技術の発展は目覚ましく、これまでより詳細なデータが取得できるようになっている。また、UAV[※]（ドローン）の普及により手軽に空中写真が取得できるようになり、リモートセンシング技術はより身近なものになりつつある。しかし、林業分野では、リモートセンシング技術を取り入れ、森林管理に使用している先進的な事例が一部存在するものの、多くの林業従事者や林務に携わる者にとっては、これらを利用しようとしたときには一から情報収集を行わなければならない、まだまだ身近な技術とはいえない。

このため、現段階で取り組まれているリモートセンシング技術を導入した先進事例や既存の実証成果について情報収集を行い、都道府県や市町村、林業事業体等による森林情報の整備・活用の推進に向け、最新のリモートセンシング技術の普及が図られるような利用方法等に関する手引きを作成する。

1.2 手引きの構成

手引きは 10 章から構成されており、第 2 章では森林資源量の調査、既設路網の把握・新たな路網開設計画の作成、森林境界の明確化といった 3 つの目的に応じてリモートセンシング技術を活用した調査方法やそこで得られるデータ等について解説を行った。また、それぞれの目的ごとに、リモートセンシング技術を適用する面積や活用したいデータ、調査方法から活用すべきリモートセンシング技術の選定フローを作成した。

また、第 2 章で示したリモートセンシング技術については、おおよそ計測範囲が広い順に、光学衛星画像[※]（第 3 章）、空中写真（第 4 章）、航空レーザ[※]（第 5 章）、UAV 写真（第 6 章）、UAV レーザ（第 7 章）、地上レーザ（第 8 章）の技術的特徴や取得できるデータ、取得方法等について解説した。

第 9 章では手引きの作成のために行ったヒアリング結果とリモートセンシング技術の導入事例をとりまとめた。

第 10 章ではリモートセンシング技術により取得したデータの解析や活用に必要なソフトウェアについて、リモートセンシングデータを解析するためのソフトウェアと解析したデータを表示する GIS※（Geographic Information System：地理情報システム、）について代表的なものを掲載するとともに、巻末には用語集を付し、手引き中の専門的なリモートセンシング用語について解説した。なお、本文中の各章に初めて表記される専門用語に「※」を付けた。

1.3 リモートセンシング技術の概要

戦後造成した人工林資源が本格的な利用期を迎える中、これらの森林資源を循環利用し、林業の成長産業化を図るためには、施業の集約化や路網整備を進めていく必要があり、地域の森林情報や地形情報を効率的に把握し活用していくことが重要である。しかし、その把握のためには、実際に調査者が森林内で立木の胸高直径や樹高、立木本数を毎木調査や標本調査等を行うことにより計測しており、非常に多くの労力を必要としていた。このような中、広範囲の調査を行うことが可能なリモートセンシング技術の森林計測分野への応用が盛んに行われ、リモートセンシング技術を活用することにより、広範囲の面的な森林情報を短期間に一定精度で把握することができるようになった。また、調査方法によってはこれまでのリモートセンシング技術では取得できなかった樹幹の曲がりや樹冠の大きさ等の情報も取得できるようになっており、現地調査の効率化や省力化を図ることが可能となっている。

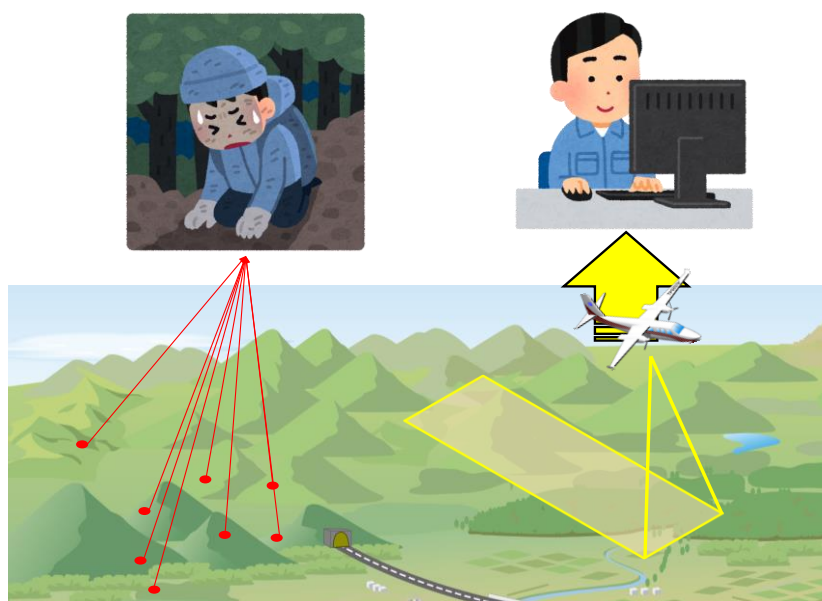


図 1-1 リモートセンシング技術の長所

リモートセンシング技術は対象を非接触で計測・観測する技術であり、遠隔探査技術とも呼ばれる。観測装置（センサ）と観測装置を搭載する機器（プラットフォーム）の組み合わせによりさまざまな技術があり、それぞれ観測できる対象や事象が異なる。センサとプラットフォームの組み合わせを表 1-1 に示す。表中の用語は一例であり、様々な呼称があることに留意する必要がある。

表 1-1 リモートセンシング技術

センサ/プラットフォーム	光学センサ	レーザ	レーダ
衛星	光学衛星画像	衛星レーザ測距	衛星合成開口レーダ
航空機	空中写真	航空レーザ	航空機合成開口レーダ
UAV	UAV 写真	UAV レーザ	無人機搭載合成開口レーダ
地上	手持ちカメラ	地上レーザ	地上設置型合成レーダ

プラットフォームには、衛星、固定翼や回転翼といった航空機、UAV といった上空から計測を行うもの、車両や三脚等の地上から計測を行うものがある。一般的には、高度が高いところから計測を行うことで、広範囲のデータを取得でき、高度が低い場合にはデータ取得範囲は小面積になるが、より高精度なデータが取得可能である。

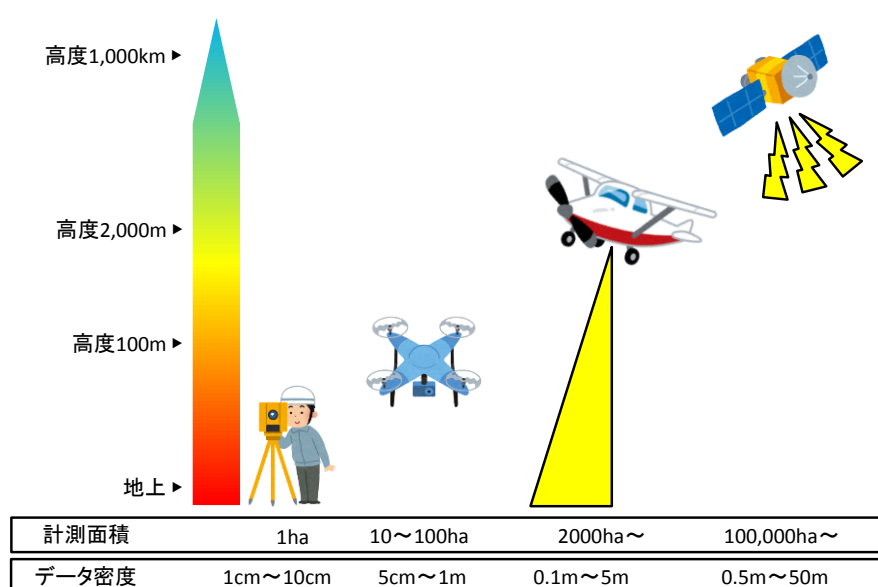


図 1-2 プラットフォームの比較

センサは受動型と能動型に大別され、受動型は対象から放射された電磁波を収集するものであり、写真計測は太陽の反射光を受容し観測を行っている。一方で能動型は観測装置が電磁波を照射し、反射した電磁波を収集するものである。レーザ計測ではレーザ光を照射し、地表の物体に反射したレーザが返ってくるまでの時間から三次元座標を取得する。

また、センサは感知する電磁波の波長帯により特性が分かれる。波長帯には X 線や紫外線、可視光線、赤外線、電波、マイクロ波等波長の長さにより種々あるが、森林資源量の調査や既設路網の把握・新たな路網開設計画の作成、森林境界の明確化等の森林計測のために多く使用される波長帯は可視光線、近赤外線※、中間赤外である。可視光線は目に見える波長帯であり、主に写真計測に用いる。一方で近赤外線や中間赤外は人の目に見えない波長のうち、可視光線の赤色に比較的近い波長帯であり、レーザ計測では近赤外線や中間赤外の波長帯をレーザ光として使用している。植物の葉は近赤外線の波長帯を強く反射し、植物によって、その反射の強さが異なる。こ

の違いを利用して植生の分類が行われる。光学衛星画像では複数の波長帯を観測できるセンサを用いることが一般的であり、可視光域に加えて近赤外線等の波長帯の情報を取得することができる。

なお、森林資源量、路網等の森林情報を取得するリモートセンシング技術は取得できるデータの広さとその利用用途により大きく基盤データと補完データの2つに分類することができる。また、使用するセンサにより光学センサとレーザセンサの2種類に分けられる。

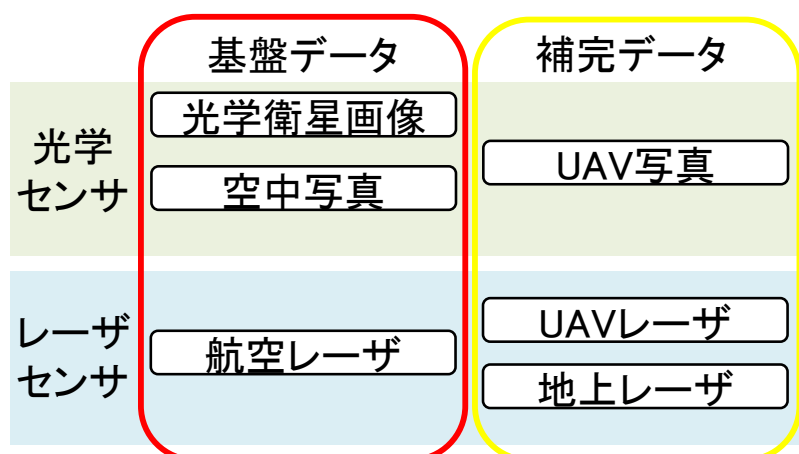


図 1-3 森林計測でのリモートセンシング技術の分類

基盤データは光学衛星画像、空中写真、航空レーザによって取得されたデータであり、数千 ha 以上の広範囲をカバーする情報である。基盤データは森林資源量の調査や既設路網の把握・新たな路網開設計画の作成、森林境界の明確化のほか、治山、林地台帳等の関連する分野にも活用することができるため、クラウド上での基盤データを整備することでリモートセンシング技術の利活用が進むと考えられる。

一方、補完データは、UAV 写真、UAV レーザ、地上レーザによって取得されるデータであり、局所的かつ高精度なデータである。補完データを計測する場合は以下の3点が考えられる。

- 基盤データが整備されていない箇所で情報を整備するため
- 基盤データが整備されているが、現況の変化により情報を更新する必要があるため
- 基盤データでは取得できない、より高精度なデータを取得するため

基盤データが整備されていない箇所について、対象が小面積である場合は、補完データにより情報を整備することが望ましい。また、台風や豪雨、火山活動等の災害や皆伐や間伐等の施業により現況が変化した場合には基盤データと現況の乖離をなくすため、補完データにより基盤データを更新することが望ましい。この他、基盤データは広範囲を効率的に整備できるものの、取得困難な情報もある。具体的には、衛星や航空機を用いた上空からの計測であるため、樹幹等の林内の情報が取得できないといった問題がある。整備する情報が活用目的に対して不十分である場合には情報を補うために補完データが必要となる。補完データの計測機器は UAV や可搬式の測量機器であるため、手軽にデータを取得できる利点があり、複数の時期の補完データを収集することで高頻度に取り得られたデータを扱うことが可能である。さらに、位置情報等により基盤データと紐づかせてクラウド上で共有することで、相乗的な効果を期待することができる。

2. 利用目的に応じたリモートセンシング技術の活用

都道府県や市町村、林業事業体等が高精度な森林情報を整備・活用するために以下の3つの利用目的に対応したリモートセンシング技術について示す。なお、リモートセンシングによって得られる成果は多岐に渡り、また成果を得る方法も数多く存在することから、本章では、求める成果を得るためにはどのような技術が必要か、また、それぞれの技術を活用するにあたっての留意点等について解説する。

2.1 森林資源量の調査

2.1.1 調査方法

リモートセンシング技術の導入目的として森林資源量の調査は最も多く、森林簿の更新や森林の評価のために使われている。森林資源量の調査では林相判読※により現況を把握する方法や材積等の森林資源量を推定するリモートセンシング方法が挙げられる。導入事例のヒアリングから明らかになった森林資源量の調査に対応するリモートセンシング技術の対応表を表2-1に示す。表中の「○」はヒアリング結果から導入事例があり、今後も一般利用が進む可能性の高い技術を表している。一方で、表中に「○」がないセンサについても技術的には森林資源量の調査が可能であるが、得られる結果の精度や運用目的を考慮した。例えば、UAV※レーザについて、エリア解析を実施することは技術的には可能であるが、単木解析を目的として運用されるセンサであることから、材積推定方法としてエリア解析には印を付けていない。

表 2-1 森林資源量の調査に対応するリモートセンシング技術

	対象 面積	林相判読		樹高 分布図	材積推定		
		自動 判読	目視 判読		標準地解析	エリア解析	単木解析
光学衛星画像※	広  狭	○	○				
空中写真			○	○	○		
航空レーザ※			○	○		○	○
UAV 写真			○	○	○	○	
UAV レーザ			○	○			○
地上レーザ							○

A) 林相判読

林相判読はスギ、ヒノキ等の針葉樹や広葉樹等の分布を広域に把握するために行われる。林相判読には光学衛星画像、空中写真（航空レーザの計測時に同時に撮影される空中写真）、UAV写真等の光学センサが用いられることが一般的である。林相判読の分類項目や精度は使用するセンサの解像度※や取得できる情報の多さで変わってくるため、林相判読結果の使用目的に応じたセンサの選定が重要となる。光学センサにはマルチスペクトル※、ハイパースペクトル※と呼ばれるセンサがあり、観測できる波長帯の数によって区分されている。林相判読の方法として、自動判読と目視判読に分けられ、多くの波長帯の情報を取得・情報を解析する光学衛星

画像では自動判読が、空中写真や UAV 写真では目視判読が行われる傾向がある。

また、過去に撮影された画像と直近に撮影された画像の差分をとることで、撮影間における皆伐跡地や残土投棄箇所等を抽出することが可能である。

一方、判読用データの多様化も進んでおり、樹高の高低を色で表現した樹高分布図の他、航空レーザや UAV レーザの反射強度（物体がレーザを反射する強さを示した数値）を利用して林相の識別用画像（林相識別図※）を作った事例もある。

a) 自動判読

光学衛星画像や写真に記録されている各観測波長帯（バンド※）のピクセル※（画素）値を基に機械的に分類を行う方法。精度は目視判読より劣るが、解析コストは目視判読よりも安価であり、QGIS や ArcGIS、ERDAS IMAGINE 等の解析ソフトで実施することができる。近年では目視判読の分類結果に近くなるようなディープラーニング※を利用した自動分類も研究されている。

i. 教師なし分類

分類する画像のピクセル（画素）値の特徴を解析し、同じような特徴を持つピクセル（画素）を同じ分類区分として、ソフトウェアが自動的に分類を行う方法である。解析前に画像と地物の対応関係を調べる必要がないため、時間的、人的コストを抑えつつ分類を行うことが可能である。しかしながら、分類結果には数字が割り振られるのみで、識別したい分類項目（スギ、ヒノキ等の情報）が付与されていないため、人為的に分類項目を割り振る必要がある。また、教師付き分類と比べると分類精度は低くなる傾向がある。

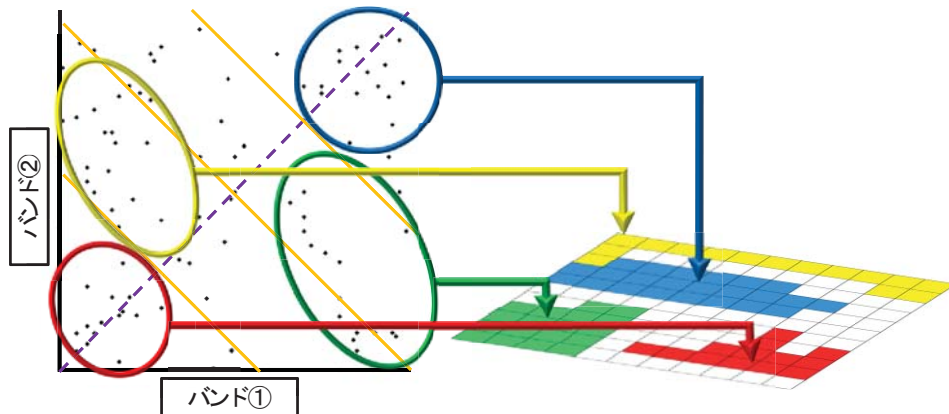
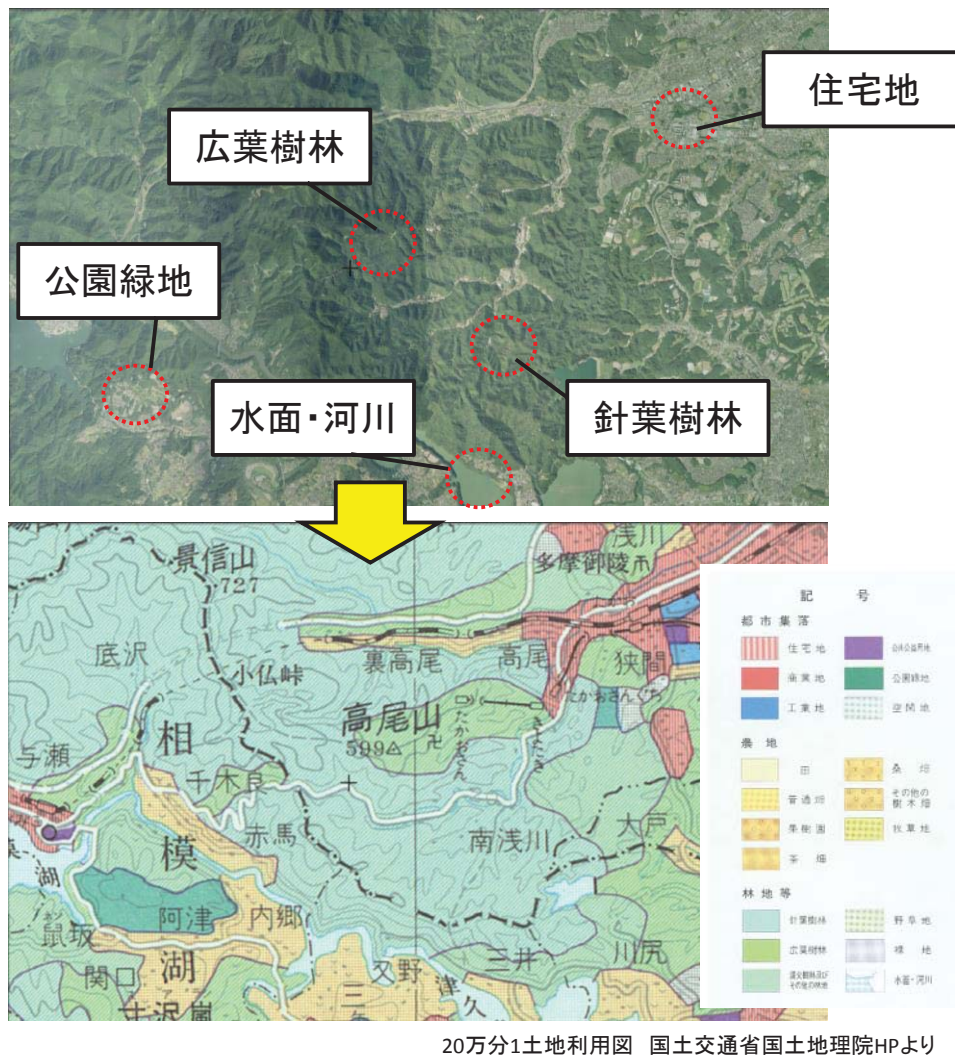


図 2-1 教師なし分類イメージ

ii. 教師付き分類

画像の一部から分類する項目の特徴的な箇所とその箇所のピクセル（画素）値の特微量との関係を明らかにして、類似した特徴を持つピクセル（画素）を同じ分類項目として抽出する分類方法である。解析前に分類項目の特徴的な箇所を教師データとして作成する必要があるが、教師なし分類と比較すると時間や人的コストがかかるが、高い精度の分類結果を得ることができる。ただし、教師データを作成する作業者の熟練

度や現地精通度によっても分類精度が異なる。



20万分1土地利用図 国土交通省国土地理院HPより

図 2-2 教師付き分類イメージ

b) 目視判読

画像の色調や地物の形状から目視により判読し、境界線を描画することで林相区分図等を作成する方法であり、林相ごとに境界を引くために樹種や樹冠の大きさの判断、地域特性等の把握といった専門的な知識を必要とする。自動判読と比べ時間と人的コストがかかるが、より多くの分類項目の設定やより誤差の少ない分類等、高い品質の林相図を作成することができる。

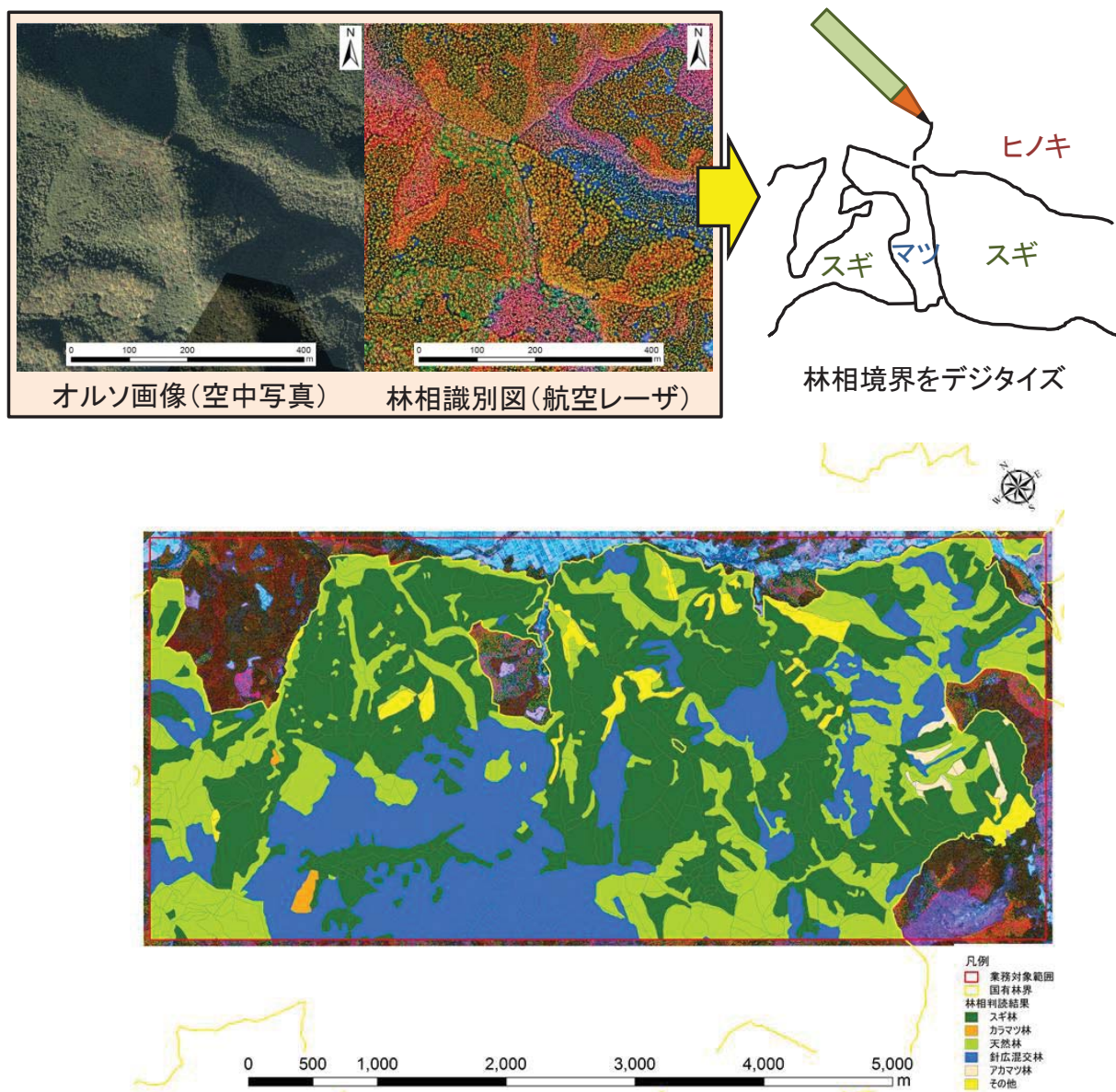


図 2-3 林相区分図の作成事例

(平成 23 年度森林・林業分野における航空レーザ技術の活用検討調査【東北森林管理局】)

B) 樹高分布図

任意のメッシュ※内 (5~10m メッシュ) に存在する立木の平均樹冠高や最大樹冠高を示したデータである。表層高※ (DSM : Digital Surface Model) と地盤高※ (DEM : Digital Elevation Model) の差分である樹冠高※ (DCHM : Digital Canopy Height Model) から作成でき、後述するエリアベースの材積推定 (p.11) の基データとなる。表層高と地盤高の両方を航空レーザのデータから作成した場合は高い精度の樹高分布図を取得することができる。一方で、UAV 写真から SfM※ (Structure from Motion) ソフト等で表層高を作成することができるが、写真からは詳細な地盤高を作成することが困難なことから、アーカイブの地盤高を利用して樹冠高を算出する方法がある。アーカイブの地盤高は 5m もしくは 10m メッシュで整備されていることが多く、地盤の形状によっては樹高に誤差が生じる可能性がある。また、SfM で作成され

る表層高とアーカイブの地盤高の高さに違いが生じる可能性がある。例えば、林道等の裸地部で表層高と地盤高の高さが一致する箇所であっても、UAV の GNSS※精度等の影響で表層高と地盤高が異なることがある。この場合、表層高と地盤高の差分を計算したときに樹冠高の高さが不正確な情報となってしまう。高い精度の樹冠高を取得するため、表層高の情報を GCP※（Ground Control Point：地上基準点）で補正し、アーカイブの地盤高との高さ調整を実施することが重要となる。また、UAV 写真から作成する表層高は林分高としての高さ情報は十分な精度があるが、撮影条件、地形や影の影響等により単木レベルの把握（単木解析）には適していない。なお、UAV 写真とアーカイブの地盤高を用いて樹冠高を求める場合、航空レーザ計測と比較して、コストを抑えることができる。

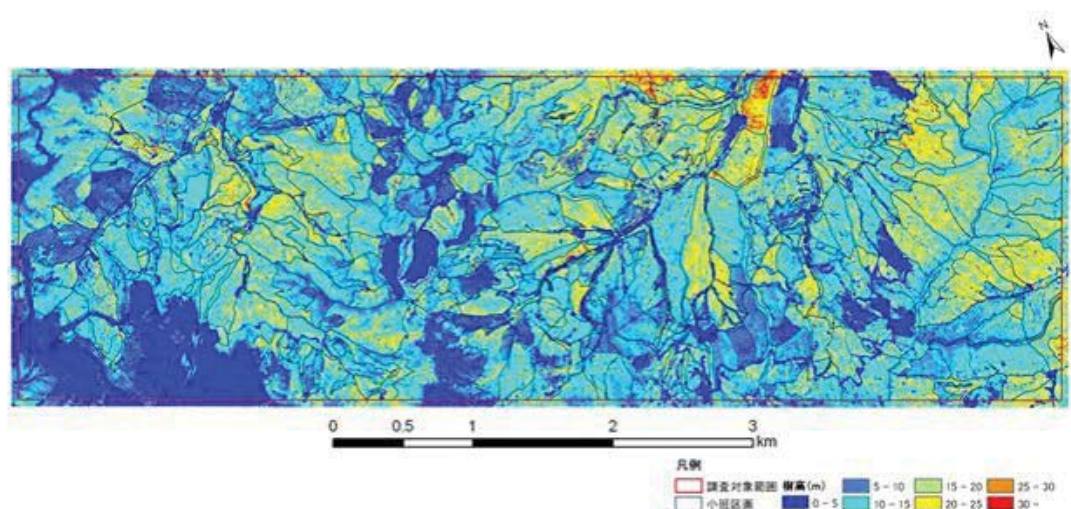


図 2-4 樹高分布図の作成事例

（航空レーザによる森林及び下層植生の現況把握等の調査事業【関東森林管理局】）

C) 材積推定

材積推定は樹高等の情報を基に行われ、①標準地解析、②エリアベース解析、③単木解析の3つの方法が用いられる。それぞれの解析結果から取得できるデータについては、表 2-2 から表 2-4 に示す。

a) 標準地解析

従来の標準地調査における現地調査に代わり、リモートセンシングデータ技術を活用して標準地の森林情報を収集し、材積を推定する方法である。具体的には、任意で設置した標準地において空中写真や UAV 写真の立体視※により樹高と立木本数を計測し、林分密度管理図※より 1ha 当たりの材積を算出する。比較的高度な技術を要しないことから、事務所の机上で必要な時に必要な範囲の材積推定の解析を行うことができる。ただし、広域を対象とする場合、標準地のデータ数を増やす必要があるため、時間や人的コストが課題となる。また、より正確な樹高を計測するためには、標定計算結果から得られる空中写真や UAV 写真の位置情報とアーカイブの地盤高の高さ調整を実施する必要がある。

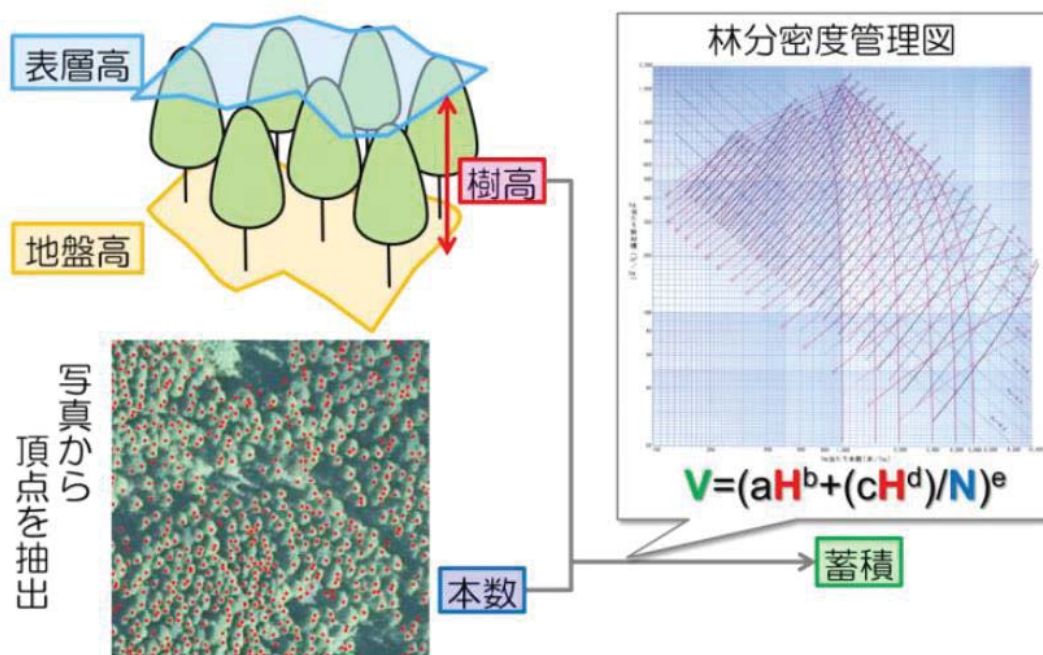


図 2-5 空中写真による標準地解析実施事例

(平成 24 年度デジタル森林空間情報利用技術開発事業のうち現地調査及びデータ解析・プログラム開発事業報告書より抜粋)

表 2-2 標準地解析で取得できるデータ

データ整備単位	取得データ
標準地	立木位置、立木本数、樹高、材積、 収量比数、相対幹距比
小班等（標準地からの推定）	立木密度、平均樹高、ha 材積、収量比数、 相対幹距比

b) エリアベース解析

前述の B) 樹高分布図 (p.8) と現地調査で得られた樹高と材積の関係性を利用して広域の材積をエリアベースで推定する方法である。具体的には、航空レーザ計測、UAV 写真を活用して作成した樹高分布図に対して現地調査から得られた樹高・材積回帰式を適用して、任意の範囲内の ha 材積を推定する。エリアベース解析では立木密度や胸高直径の把握はできない点に留意する必要がある。また、樹高・材積回帰式の作成には、30 点程度 (対象とする範囲によって増加) の現地調査が必要となるため、広域を対象とする場合、多くの現地調査結果が必要となる。算出した任意範囲の ha 材積を小班単位等で集計することにより、広域の材積分布を把握することができ、素材生産計画を検討する際の基礎情報として活用することができる。

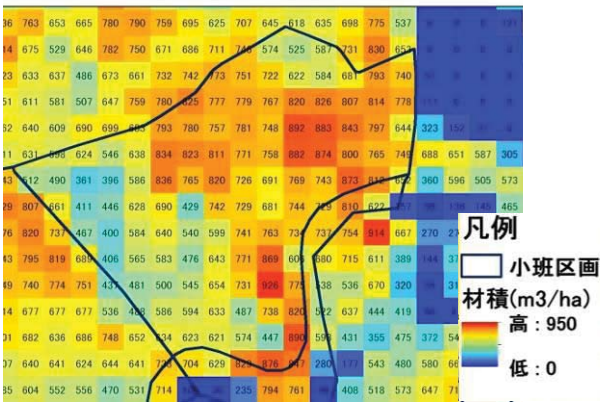


図 2-6 エリアベース解析による材積分布図作成事例

(木曽地区ほか航空レーザ測量解析業務【中部森林管理局】)

表 2-3 エリアベース解析で取得できるデータ

データ整備単位	取得データ
10m×10m 等のメッシュ	平均樹高、ha 材積
小班等 (メッシュ情報の集計)	平均樹高、ha 材積

c) 単木解析

レーザ計測データを活用して、単木単位で材積を推定する方法である。大きく航空機や UAV により上空からレーザ計測を行う方法と設置型レーザ機器等により林内でレーザ計測を行う二つの方法に分けることができる。

航空機や UAV によるレーザ解析では樹冠の凹凸情報から樹頂点の抽出を行い、単木ごとの樹高と樹冠情報 (大きさ等) を取得し、これらと現地調査で得られた胸高直径から回帰式を作成することで、毎木の胸高直径を推定する。そして、樹高と推定した胸高直径に二

変数材積式を適用することで単木材積を推定する。単木情報を小班単位等で集計し、地形情報と併せて分析することで、広域の森林評価（ゾーニング）に活用できる。単木解析には計測密度 4 点/m²以上のレーザ計測データが必要な点については留意する必要がある。なお、胸高直径の推定に使用する回帰式を作成するには、樹種ごとに現地調査が必要となるため、エリアベース解析と同様に広域を対象とする場合、多くの調査地点が必要となる。また、航空レーザ、UAV レーザの単木解析は針葉樹を対象にした方法であることから、広葉樹の材積分布についてはエリアベース解析で実施することが多い。

一方、地上レーザは、林内からレーザを照射し、樹幹の形状を捉えることで、単木の情報を取得する。航空機や UAV によるレーザ解析で得られる情報のほか、航空レーザや UAV レーザでは取得困難な樹幹の曲がりや下層植生の情報まで取得できる。このように、曲がりを含めた詳細な資源情報を取得できることから、材の品質を踏まえた素材販売計画の立案等に活用することができる。一方、計測時に地上から踏査する必要があるため広域の計測には不向きである。

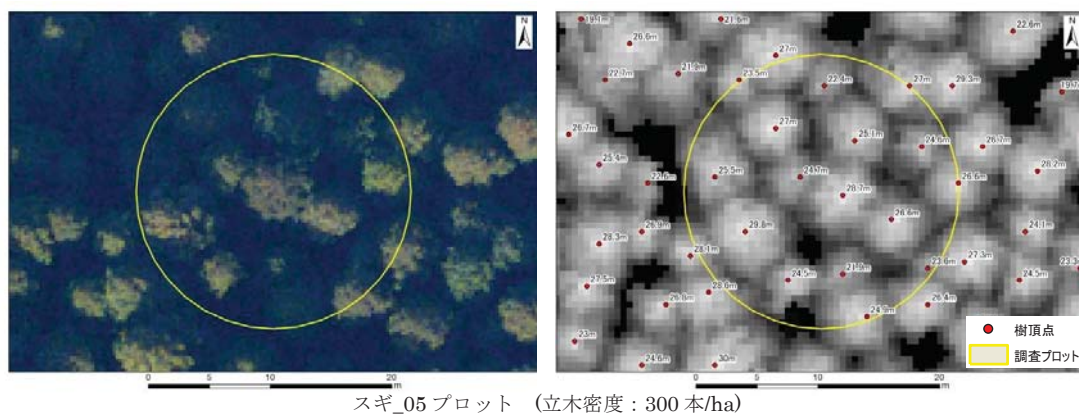


図 2-7 単木解析の実施事例

(航空レーザによる森林及び下層植生の現況把握等の調査事業【関東森林管理局】)

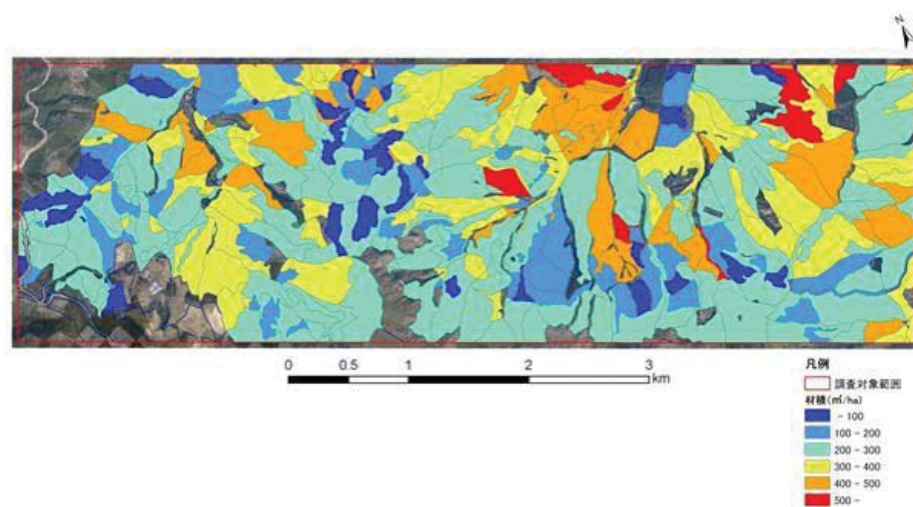


図 2-8 小班単位材積区分図の作成事例

(航空レーザによる森林及び下層植生の現況把握等の調査事業【関東森林管理局】)

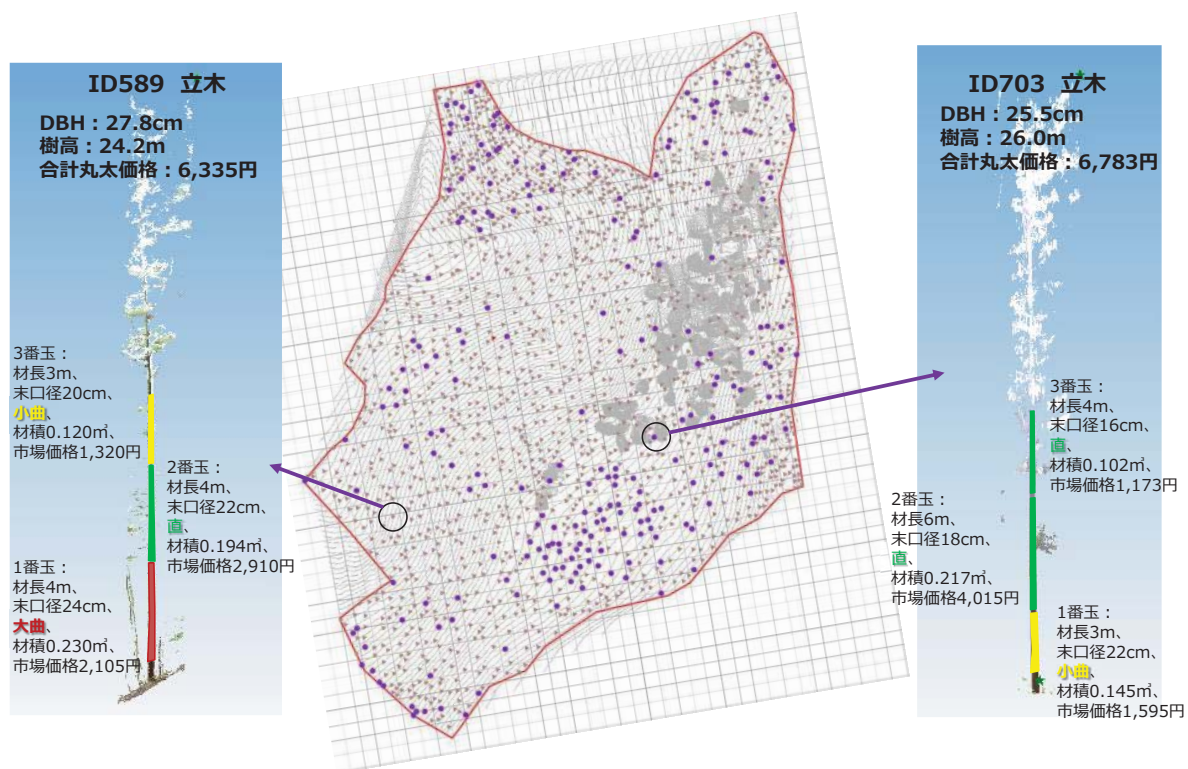


図 2-9 地上レーザによる単木樹木情報管理イメージ (Digital Forest)

表 2-4 単木解析で取得できるデータ

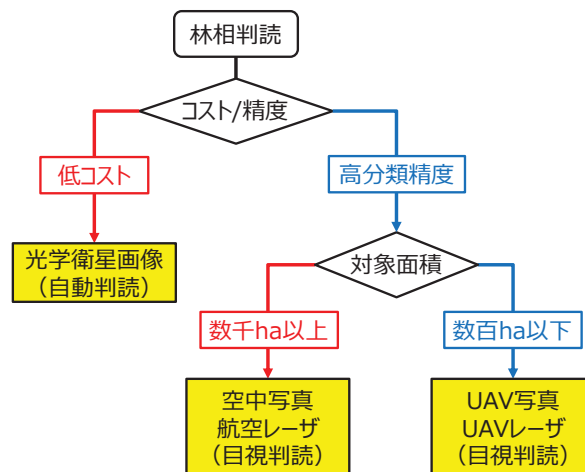
データ整備単位	取得データ	
	航空・UAV レーザ	地上レーザ
単木	立木位置、樹高、胸高直径、材積、樹冠長、形状比	立木位置、樹高、胸高直径、材積、樹冠長、形状比、曲がり
小班等 (単木情報の集計)	立木本数、立木密度、平均樹高、平均胸高直径、合計材積、ha 材積、収量比数、相対幹距比、形状比	

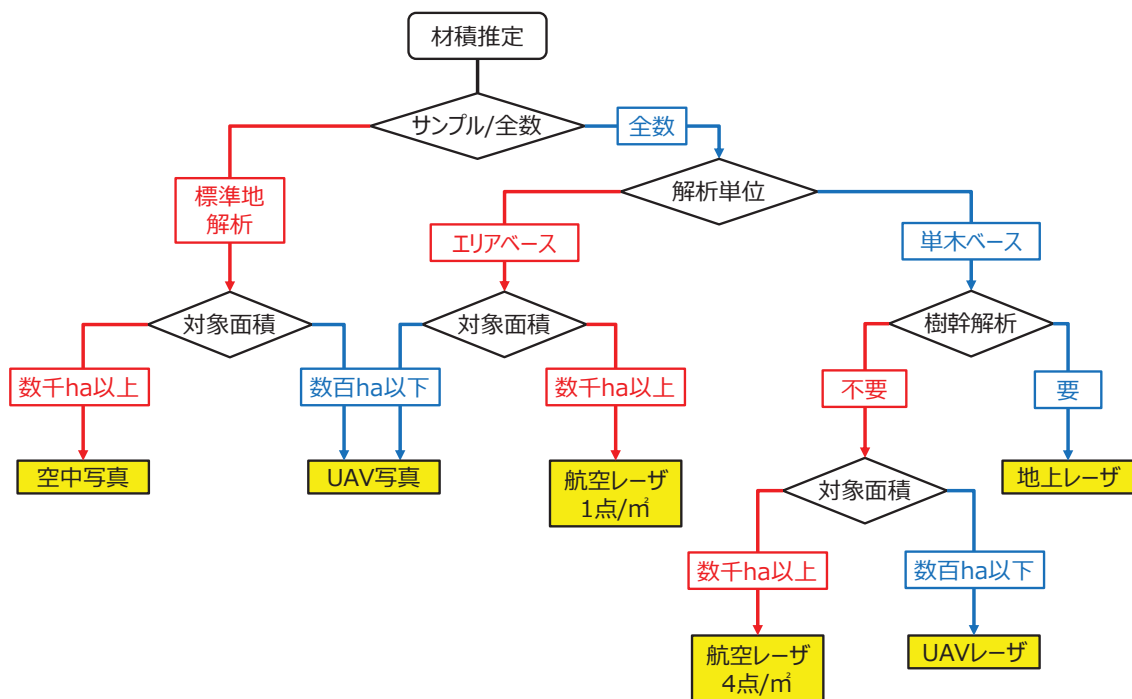
2.1.2 リモートセンシング技術の選定フロー及びとりまとめテーブル

森林資源量の調査を目的としたリモートセンシング技術の選定では、図 2-10 のフローを指針とする。

林相判読を目的とした場合、初めに低コストか高分類精度かを選択し、次に対象面積で技術を選択する。高分類精度かつ対象面積が数千 ha 以上を選んだ場合は、空中写真と航空レーザが選択候補となる。空中写真または航空レーザを選択するにあたっては、材積推定、既設路網の把握、森林境界の明確化等、その他の利用目的を考慮することになる。

材積推定を目的とした場合、初めに資源情報の把握方法としてサンプル調査または全数調査を選択する。サンプル調査は目視判読により、標準地の資源情報を把握し、全体を推定する方法となる。全数調査については、解析単位でエリアベース解析または単木解析を選択する。さらに、単木解析においては樹幹の曲がり情報まで必要となる場合は地上レーザが選択され、樹幹情報が不要な場合は面積に応じて航空レーザ（計測密度 4 点/m²）または UAV レーザが選択される。





リモートセンシング技術	参照ページ
光学衛星画像	3. 光学衛星画像 P29
空中写真	4. 空中写真 P37
航空レーザ (4 点/m ²)	5. 航空レーザ P43
航空レーザ (1 点/m ²)	5. 航空レーザ P43
UAV 写真	6. UAV 写真 P50
UAV レーザ	7. UAV レーザ P59
地上レーザ	8. 地上レーザ P63

図 2-10 森林資源量の調査を目的としたセンサ選定フロー

森林資源量の調査に用いられる技術ごとの計測面積、取得データの諸元、活用方法、取得データ、コストについて取りまとめた内容を表 2-5 に示す。なお、計測面積等の項目の記載内容については導入事例のヒアリング結果を基にしている。

表 2-5 森林資源量の調査とまとめテーブル

評価項目	現地調査	光学衛星画像	空中写真		航空レーザ		UAV写真		UAVレーザ	地上レーザ
			空中写真 オルソ画像	立体視						
適用 面積	○			○				○	○	○
	○			○				○	○	○
				○				○	○	
		○	○							
		○	○							
データ諸元		地上解像度 0.41m～10m	地上解像度 0.1～0.3m	地上解像度 ～0.5m	計測密度 1点/m ²	計測密度 4点/m ² 以上	地上解像度 1cm～10cm (センサのサイズ、 対地高度により変動)		計測密度 20点/m ² ～100点/m ² (飛行速度、対地高度 により変動)	レーザ機器設置間隔 10～20m
		林相判読	林相判読	林相判読 林分情報把握 (標準地解析)	林相判読 林分情報把握 (エリアベース解析)	林相判読 単木情報把握 (単木解析)	林相判読 林分情報把握 (標準地解析)	林相判読 林分情報把握 (エリアベース解析)	林相判読 単木情報把握 (単木解析)	単木情報把握 (単木解析)
森林 調査	○			○	○	○	○	○	○	○
	○			○	○	○	○	○	○	○
	○					○			○	○
	○			○		○	○	○	○	○
				○		○	○	○	○	○
	○					○			○	○
	○			○		○	○	○	○	○
	○					○			○	○
	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
										○
導入 コスト		-	-	-	-	-	15万円～200万円		3,000万円	200万円～1,000万円
		-	-	10万円/年	-	-	100万円		-	～400万円
		2～100円/ha	300円/ha	30,000円+1,000 ～1,600円/空中写真1枚 (搭載データ作成費用)	-	2,500円/ha (計測のみ) 6,300円/ha (解析+ソフト 導入費を含む)	-		247,000円/ha (計測+解析)	200,000円/ha (計測+解析)

2.2 既設路網の把握・新たな路網開設計画の作成

2.2.1 調査方法

路網業務においてリモートセンシング技術を活用する場合、目的（既設路網の把握、新たな路網開設計画の作成）により使用するデータ、ソフトウェアが異なる。

表 2-6 各路網解析方法に対応するリモートセンシング技術

	対象 面積	地形情報	既設路網把握	新たな路網 開設計画の作成
光学衛星画像				
空中写真				
航空レーザ		○	○	○
UAV 写真				
UAV レーザ		○	○	○
地上レーザ		○	○	○

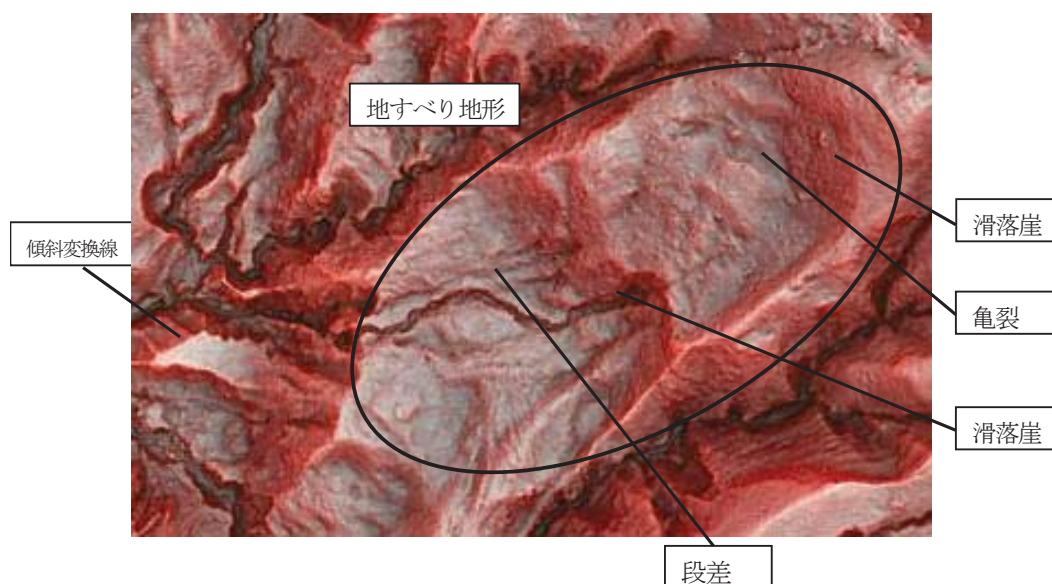
A) 地形情報

地盤高を基に地形の変化を明瞭に表現した「微地形表現図※」を作成し、目視判読により地形情報を把握する。微地形表現図は表現方法や作成方法により CS 立体図※、赤色立体地図※、陰陽図※等、多くの種類が存在するが、利用用途に大きな差はない。従来は等高線図や空中写真を用いて地形判読※を行ってきたが、判読者に経験と高度な技術が要求されるため、より容易に地形を判読するための方法として開発された。

微地形表現図の利用により、急傾斜地や緩傾斜地が判読できるほか、既設路網の抽出や崩壊地・地すべり地の抽出を行うことができる。また、微地形表現図のうち長野県林業総合センターが開発した「CS 立体図」は作成方法が一般に公開されており、地盤高が用意できる場合は各ユーザーが無料で作成することもできる。

作成した微地形表現図の活用方法として、タブレット等の端末の専用アプリで表示して現地調査の効率化を図ることができる。なお、森林域ではインターネットが繋がらない可能性が高いことから、端末の GNSS を基に現在位置を表示する機能が求められる。

□赤色立体地図



□赤色立体地図（既設の治山施設が読み取れる）

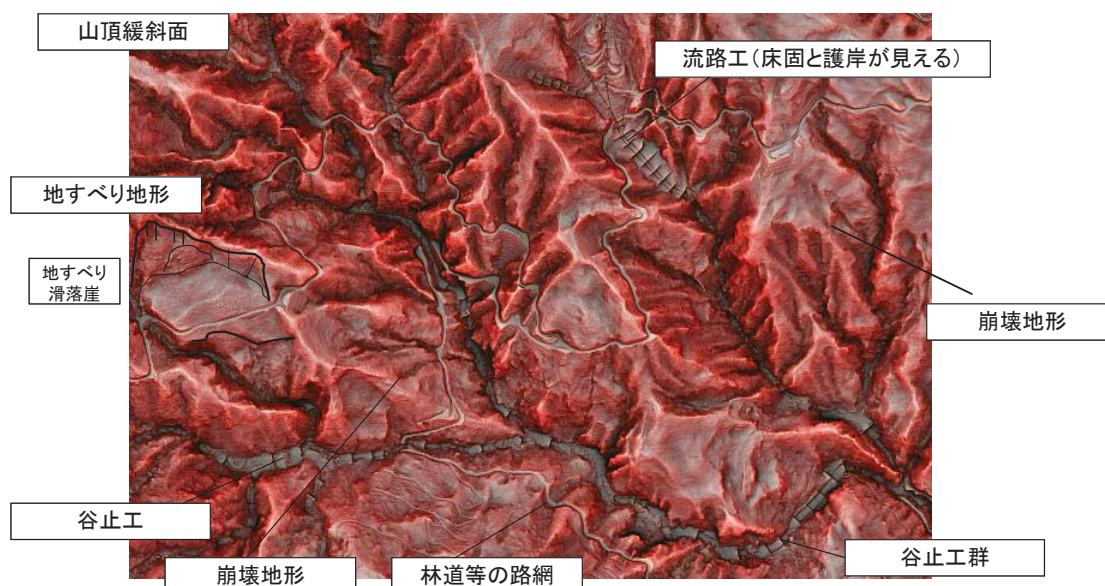


図 2-11 微地形表現図の作成事例

（平成 23 年度 リモートセンシング技術を活用した森林現況調査業務【九州森林管理局】）

B) 既設路網の把握

既設路網の把握を目的とする場合、用いるリモートセンシング技術は樹木下の地盤を計測することのできる航空レーザ、UAV レーザ、地上レーザ等のレーザ計測に限られる。レーザデータより取得した地盤高から、起伏を強調した微地形表現図を作成し、GIS※ビューアーに表示することで、既設路網の抽出、把握を目視により行うことができる。なお抽出できる路網のサイズは使用するレーザデータの計測密度に左右され、幅員 3m 以上の路網抽出には 1 点/m²のレーザデータ（1m メッシュの地盤高）が、幅員 1.5m 以上の路網抽出には 4 点/m²のレーザデータ（0.5m メッシュの地盤高）が必要となる。1.5m 程度の施設が識別できることから、過去

に整備した用水路等の配置も把握可能であり、記憶に頼っていた施設情報を把握できるため、土地所有に関して情報を補足的に取得することもできる。

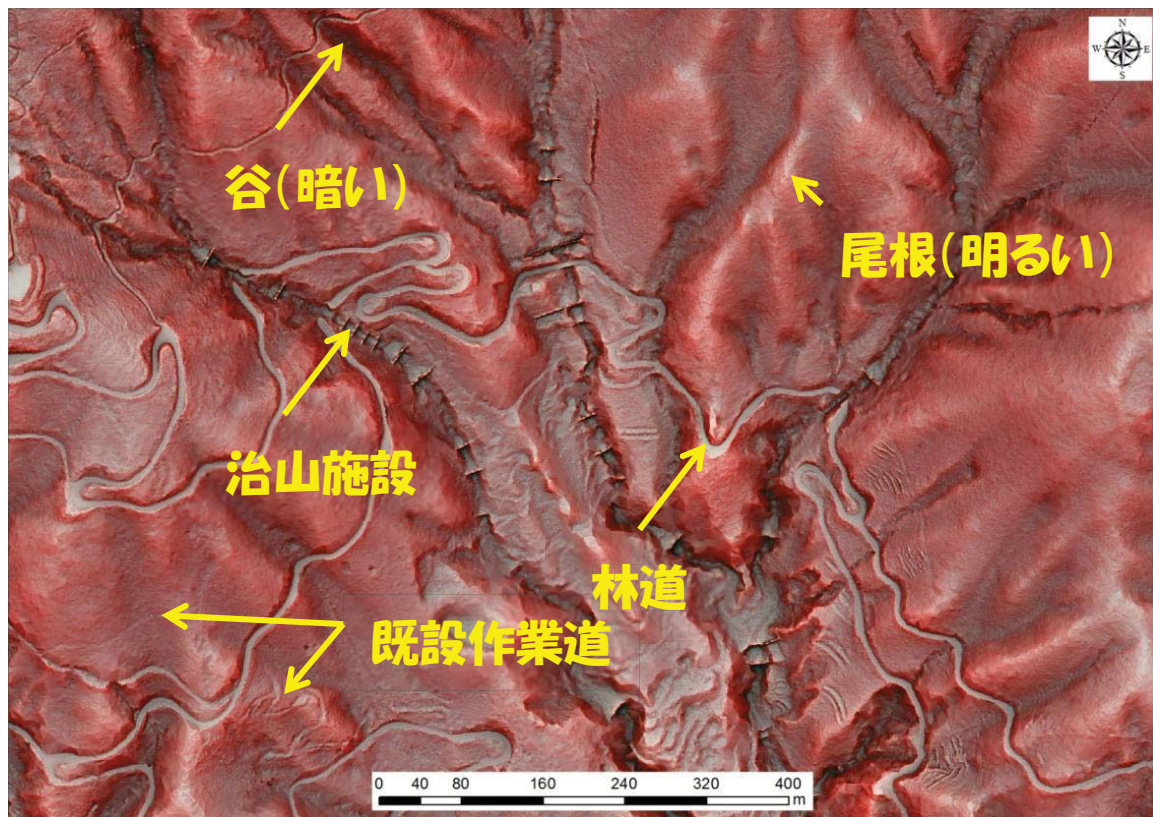


図 2-12 既設路網の把握イメージ（4 点/m²のレーザデータを使用）

C) 新たな路網開設計画の作成

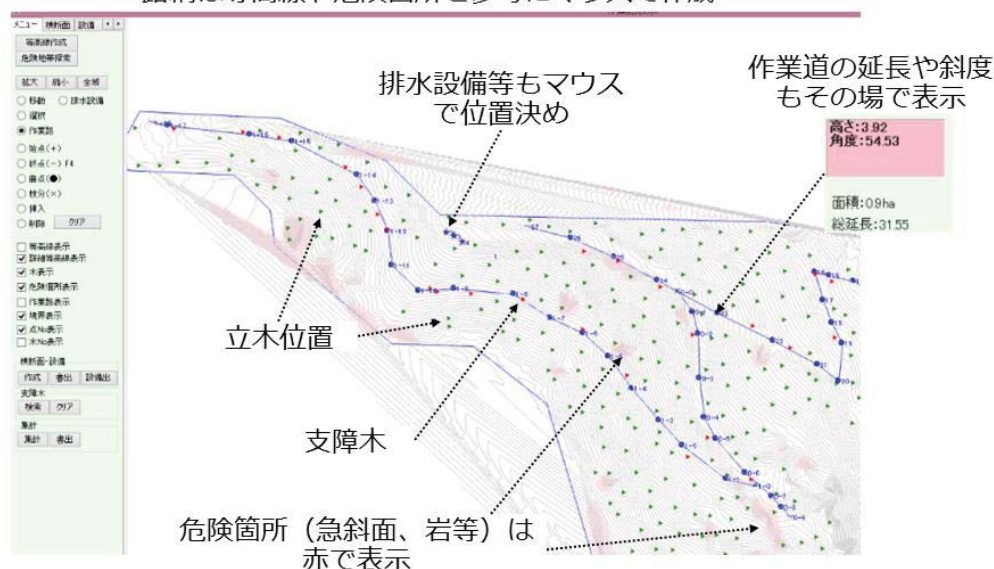
新たな路網開設計画の作成にレーザ計測より取得した地盤高を活用する場合、等高線よりも正確な標高を把握でき、傾斜度や路線の比高等の計算が正確になるとともに、現地調査を行わなくとも机上で切土、盛土等の土工量を計算することができる。また、微地形表現図やオルソ画像※を併用することで、集水地形等の地形判読を行いながら、危険な箇所を避けて路網を設計することもできる。これらの解析を汎用的なソフトウェアで行う場合には GIS 等の専門的な知識が必要となるが、専門のソフトウェアを活用すれば効率的に解析することができる。

ただし、航空レーザや UAV といった上空から観測した地盤高を利用する場合、実際に路網が開設できるか現地調査を行い林内の詳細な状況（露岩や湧水状況等）を確認する必要がある。一方、地上レーザを使用した場合、レーザ計測と併せて現地の状況確認を行うことができるため、現地調査を省力化することができる。

路網設計シミュレーション



効率的に伐採・集材するための路網設計シミュレーション
路網は等高線や危険箇所を参考にマウスで作成



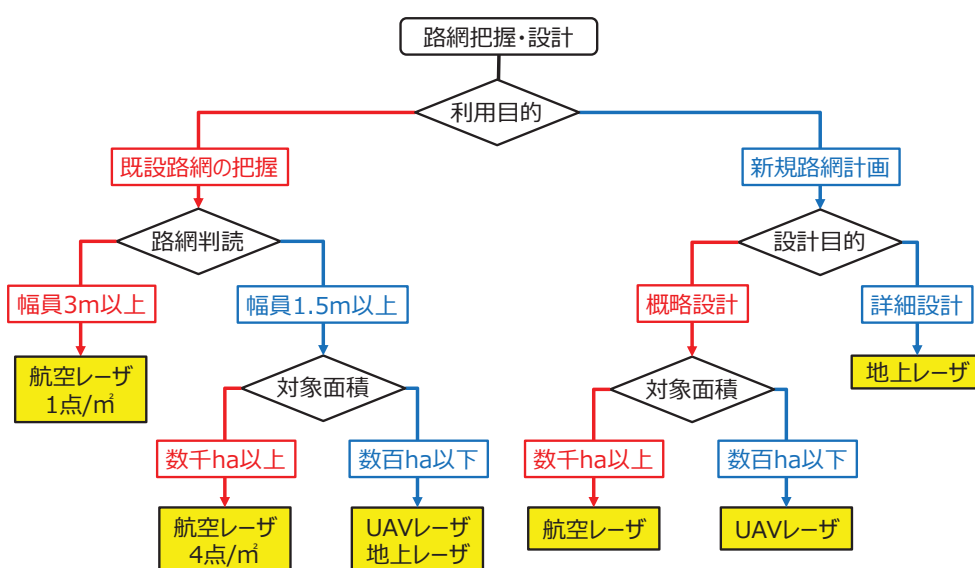
©2011-2017 woodinfo. ALL RIGHTS RESERVED.

図 2-13 地上レーザでの路網設計シミュレーションイメージ（Digital Forest）

2.2.2 リモートセンシング技術び選定フロー及びとりまとめテーブル

既設路網の把握、新たな路網開設計画の作成を目的としたリモートセンシング技術の選定は、図 2-14 のフローを指針とする。

初めに既設路網の把握または新規路網の設計かを選択する。既設路網の把握は、現地調査の省力化や路網から近い林業適地の選定等を目的として実施する。また、新規路網計画は地盤高を基に等高線図や微地形表現図を作成し、既設の路網を把握した上で、路網作成支援ソフトを使用して路網を計画する。新設路網の計画を行う場合、航空レーザの計測密度は 1 点/m²以上あることが望ましい。なお、樹冠に覆われた林内の詳細な地形情報や既設路網の情報を取得するためには、レーザ計測データが必要となる。このため、既設路網の把握・新たな路網開設計画の作成を目的とする場合には、空中写真等の光学センサを選定フローに含めていない。



リモートセンシング技術	参照ページ	
航空レーザ（4 点/m ² ）	5. 航空レーザ	P43
航空レーザ（1 点/m ² ）	5. 航空レーザ	P43
UAV レーザ	7. UAV レーザ	P59
地上レーザ	8. 地上レーザ	P63

図 2-14 路網計画を目的としたセンサ選定フロー

既設路網の把握、新たな路網開設計画の作成に用いられる技術ごとの計測面積、取得データの諸元、活用方法、取得データ、コストについて取りまとめた内容を表 2-7 に示す。なお、計測面積等の項目の記載内容については導入事例のヒアリング結果を基にしている。

表 2-7 既設路網の把握・新たな路網開設計画の作成とりまとめテーブル

評価項目		現地調査	航空レーザ		UAVレーザ	地上レーザ
適用面積	～1ha プロットレベル	○			○	○
	1ha～10ha 小班単位	○			○	○
	10ha～100ha 小班単位				○	
	2,000ha～ 市町村・都道府県単位		○			
	100,000ha～ 都道府県単位		○			
データ諸元			計測密度 1点/㎡	計測密度 4点/㎡以上	計測密度 20点/㎡～100点/㎡ (飛行速度、対地高度 により変動)	レーザ機器設置間隔 10～20m
活用方法			幅員3.0m以上の 既設路網の把握	幅員1.5m以上の 既設路網の把握 新規路網計画	幅員1.5m以上の 既設路網の把握 新規路網計画	幅員1.5m以上の 既設路網の把握 新規路網計画
地形 情報	等高線図		○	○	○	○
	微地形表現図		○	○	○	○
	既設路網		○	○	○	○
	幅員1.5m以上の路網抽出			○	○	○
	幅員3.0m以上の路網抽出		○	○	○	○
設計 精度	概略設計		○	○	○	○
	詳細設計					○
導入 コスト	計測機器		-	-	3,000万円～	200万円～1,000万円
	解析ソフト		-	-	-	～400万円
	コスト ※ヒアリング結果平均値 詳細は手引き72p以降を参照		-	2,500円/ha (計測のみ) 6,300円/ha (解析+ソフト 導入費を含む)	247,000円/ha (計測+解析)	200,000円/ha (計測+解析)

2.3 森林境界の明確化

2.3.1 調査方法

森林境界を明確化するための方法として、林相や地形、アーカイブデータの活用が考えられる。

表 2-8 各境界確認方法に対応するリモートセンシング技術

	対象 面積	林相による 境界明確化	地形による 境界明確化	アーカイブデータに よる境界明確化	境界杭等の 計測
光学衛星画像	△ ▽ △ ▽ △ ▽	○	△	○	
空中写真		○	△	○	
航空レーザ		○	○		
UAV 写真		○	△		○
UAV レーザ		○	○		○
地上レーザ			○		○

※△：詳細な地形情報の取得は困難

A) 林相による境界明確化

森林の境界が林相により区分されている場合には、オルソ画像や樹高分布図を活用した目視判読により森林境界を推定することができる。また、単木が判読可能な画像の解像度がある場合は目印となる所有界の境界木や境界に対して列状に植栽された樹木を確認することもできる。なお、地上レーザは単木レベルで樹種は特定できるものの、広域に適用して、境界の明確化を行う事例は少ないことから、林相による境界明確化には含めていない。

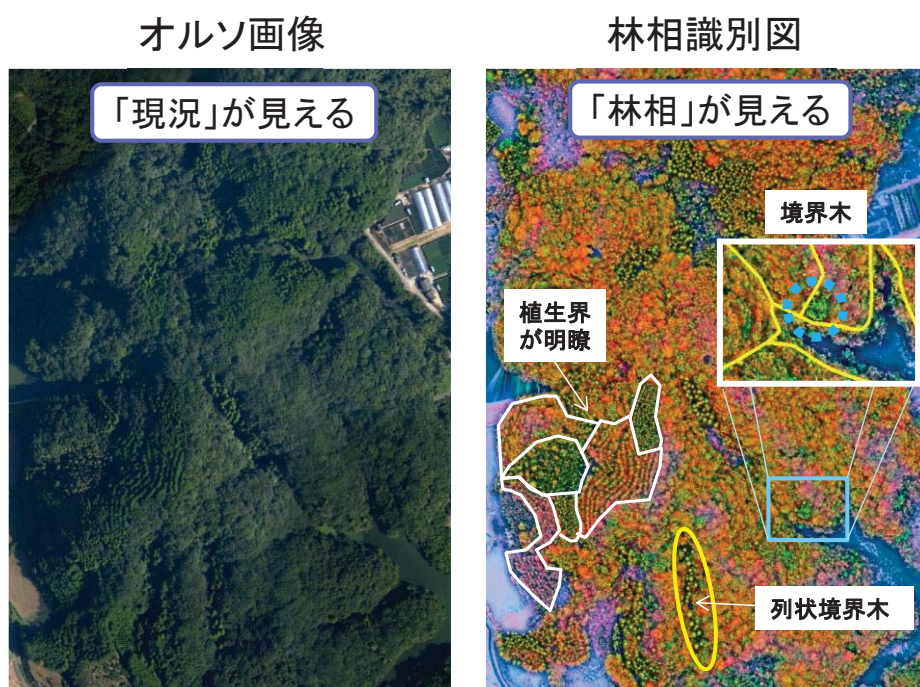


図 2-15 林相による境界明確化事例

B) 地形による境界明確化

路網や尾根や谷等の地形が森林境界になっている場合には、地盤高より起伏等の地形を強調した微地形表現図を活用した目視判読により境界を推定することができる。また、尾根や谷等の大まかな地形については、空中写真を立体視することでも把握することができる。

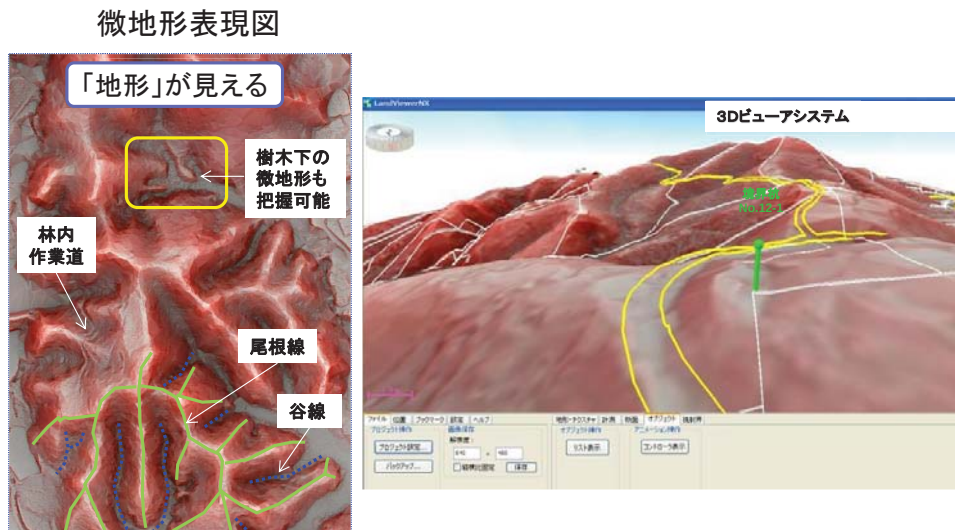


図 2-16 地形による境界明確化

C) アーカイブデータによる境界明確化

森林は伐採、植栽、保育を行う場合は、所有者単位で行うことが想定されることから、複数時期のアーカイブデータが存在する場合には施業履歴を確認することで森林境界を推定できる場合がある。また、境界情報である公図等が作成された時期と同じ時期のアーカイブデータがある場合には、森林境界を決めた当時の状況を推定できる可能性がある。光学衛星画像や空中写真はアーカイブデータが豊富に存在するため、森林境界の明確化に役立つ可能性が高い。ただし、過去に撮影されたデータを用いるため画像の解像度は粗くなる場合があり、最新のリモートセンシング技術との併用が効果的である。

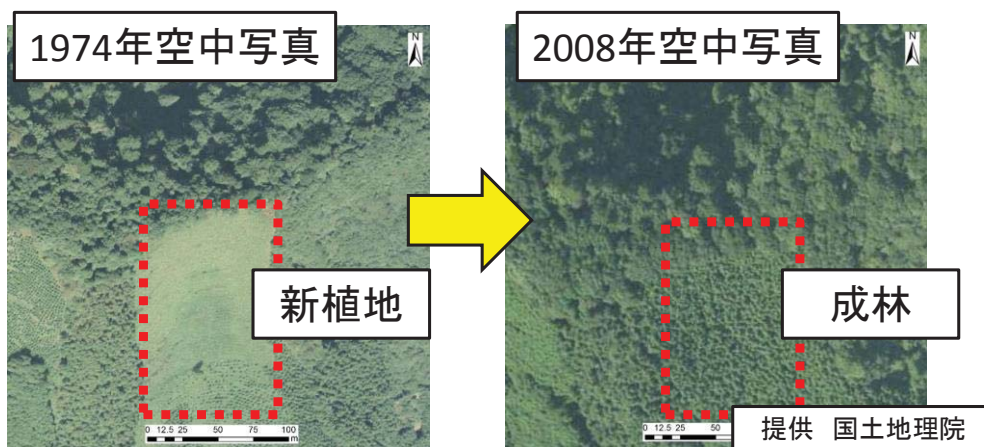


図 2-17 アーカイブデータによる境界明確化

D) 境界杭等の計測

UAV レーザや地上レーザにより反射材をつけた境界杭の計測を行うことができる。境界杭の位置を境界木等の周囲の状況と同時に計測し、計測結果を可視化することで境界情報をわかりやすく示すことができる。可視化した情報を森林 GIS 等で管理することにより、境界杭の再確認を行う際の現地調査を効率的に実施するための有効な情報となる。また、UAV 写真は崖地等のアクセスが困難な箇所の境界杭の点検等にも活用することができる。

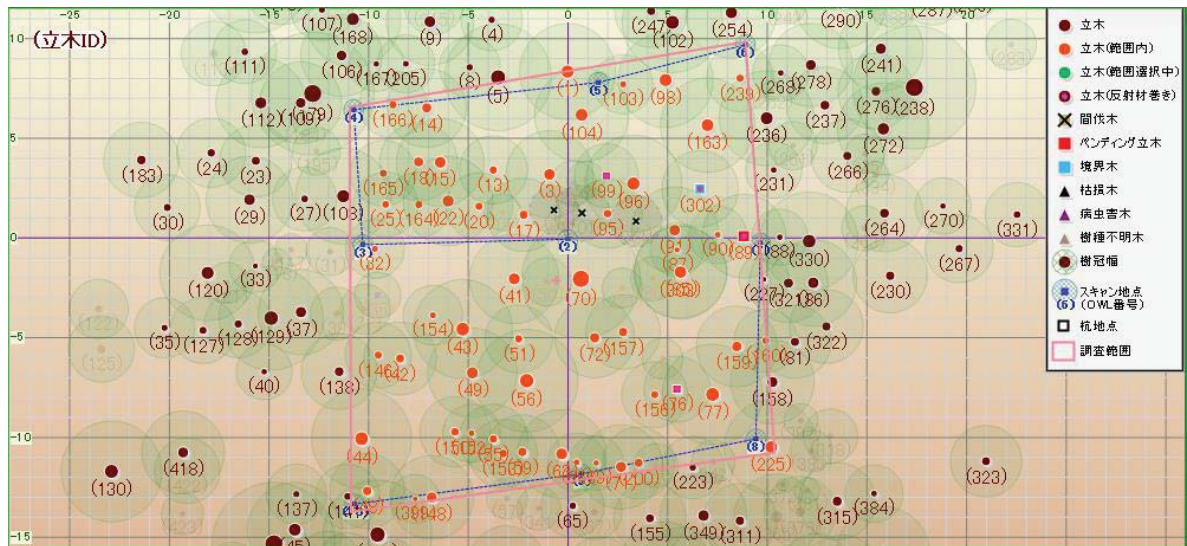
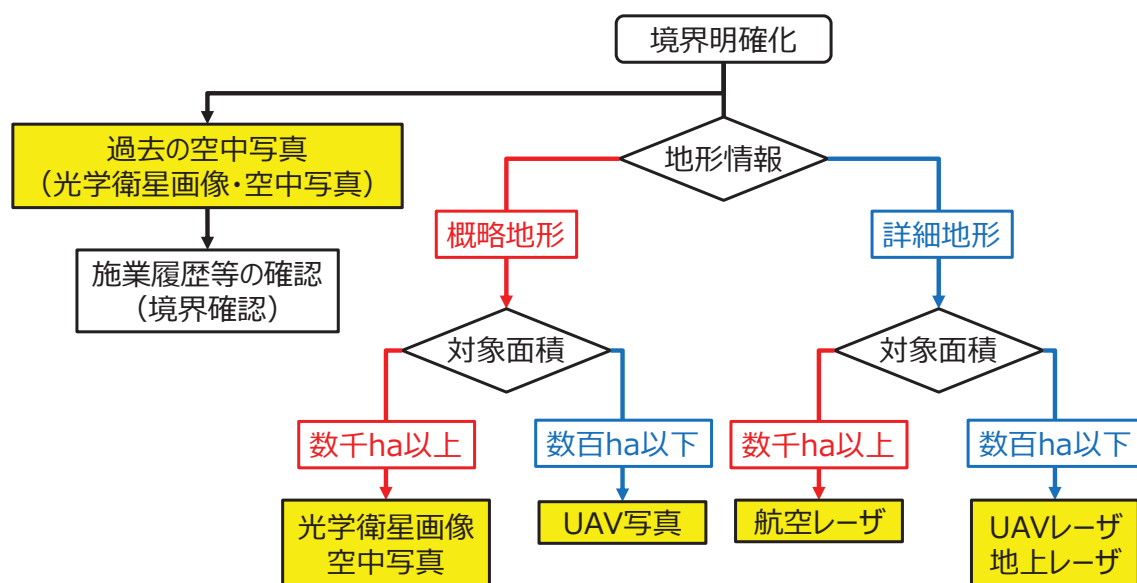


図 2-18 境界杭と立木の位置図イメージ (OWLManager)

2.3.2 リモートセンシング技術の選定フロー及びとりまとめテーブル

森林境界の明確化を目的としたリモートセンシング技術の選定では、図 2-19 のフローを指針とする。

森林境界の明確化において過去の施業履歴等から境界の確認を行う場合は、アーカイブデータが利用できる。施業年度前後の光学衛星画像や空中写真を取得することで、明確に施業箇所を特定することができるが、施業年度以降の画像だけでも皆伐地等は施業箇所を特定できる。次に地形情報の精度により分岐する。光学センサでは林冠に覆われた林床の詳細な微地形は識別することができず、尾根や谷の大まかな地形情報のみの識別となる。一方で、レーザセンサは尾根や谷の地形情報だけでなく、斜面の細かな凹凸まで識別できる情報を取得することができる。必要とする地形情報を選択した上で、対象とする面積で技術を選定する。なお、森林境界の明確化で重要となる林相（地上レーザの場合は樹種）の情報は各技術で取得することができるため、フローには各技術の林相情報は含めていない。



リモートセンシング技術	参照ページ
光学衛星画像	3. 光学衛星画像 P29
空中写真	4. 空中写真 P37
航空レーザ	5. 航空レーザ P43
UAV 写真	6. UAV 写真 P50
UAV レーザ	7. UAV レーザ P59
地上レーザ	8. 地上レーザ P63

図 2-19 境界明確化を目的としたセンサ選定フロー

森林境界の明確化に用いられる技術ごとの計測面積、取得データの諸元、活用方法、取得データ、コストについて取りまとめた内容を表 2-9 に示す。なお、計測面積等の項目の記載内容については導入事例のヒアリング結果を基にしている。

表 2-9 森林境界の明確化とリまとめテーブル

評価項目	現地調査	光学衛星画像	空中写真		航空レーザー		UAV写真	UAVレーザー	地上レーザー
			空中写真 オルソ画像	立体視					
適用 面積	○	○		○			○	○	○
データ諸元		地上解像度 0.41m～10m	地上解像度 0.1～0.3m	地上解像度 ～0.5m	計測密度 1点/m ²	計測密度 4点/m ² 以上	地上解像度 1cm～10cm (センサのサイズ、 対地高度により変動)	計測密度 20点/m ² ～100点/m ² (飛行速度、対地高度 により変動)	レーザー機器設置間隔 10～20m
活用方法		林相判読	林相判読	林相判読	林相判読 地形判読	林相判読 地形判読	林相判読	林相判読 地形判読 境界杭の計測	林相判読 地形判読 境界杭の計測
森林 調査	樹種 樹高	○	○	○	○	○	○	○	○
地形 情報	等高線図 概略地形情報 微地形表現図	○	○	○	○	○	○	○	○
境界杭の調査	○							○	○
導入 コスト	計測機器 解析ソフト コスト ※ヒアリング結果平均値 詳細は手引き72p以降を 参照	- - 2～100円/ha	- - 300円/ha	- 10万円/年 30,000円+1,000 ～1,600円/空中写真1枚 (搭載データ作成費用)	- - -	-	15万円～200万円 100万円	3,000万円	200万円～1,000万円 ～400万円 247,000円/ha (計測+解析) 200,000円/ha (計測+解析)

3. 光学衛星画像

メリット

- 自動分類により、林相区分図を作成することができる
- 林相が森林境界となっている場合は画像上で確認することができる
- 膨大なアーカイブデータが存在し、同箇所でも複数の撮影が行われているため、経年変化を把握することができる
- 航空機よりも広範囲のデータを取得することができる
- 画像の単位面積当たりの取得単価が安い

デメリット

- 雲の影響により林相判読が困難な場合がある
- 地形によって影が生じる可能性がある
- アーカイブデータを主に利用するため、業務範囲全域を同時期の画像で整備できない場合がある

3.1 技術的特徴

我が国では、高度 400～1,000km の軌道上から、1～30 日周期で衛星による地上観測が行われており、今現在も観測が行われている。画像の解像度※は 0.3m～数十 m と幅広い。光学衛星センサは太陽光が地上で反射した可視光線や近赤外線※を観測する（図 3-1）。衛星の種類によって異なるが、面積当たりの単価は空中写真と比べ安いことが多いことから、広範囲の解析の際に多く採用されている。また、異なる時期に同じ箇所を撮影した画像が多く蓄積されているため、経年変化を把握するためのデータとして利用される場合もある。

光学衛星画像※の利用目的としては林相判読が挙げられることが多い。林相判読フローの一例を図 3-2 に示す。まず、オリジナルの光学衛星画像は十分な位置精度を持っていない場合があり、幾何補正※（ベースとなる地図と位置を合わせる作業）やオルソ補正（標高も含めた三次元情報を用いて写真のゆがみを補正する作業）により、位置情報の精度を向上させる必要がある。また、光学衛星画像は観測対象物と衛星との距離が長く、大気中に存在する粒子の影響を受けているため、この影響を取り除く大気補正も行う必要がある。光学衛星画像によっては幾何補正、オルソ補正、大気補正済の光学衛星画像を販売している場合もあるため、補正済みの画像を購入することを推奨する。また、画像の選定にあたってはポインティング角（衛星センサの撮影方向）にも注意する必要がある。ポインティング角が大きくなることで、画像の倒れ込みが顕著になり、特に倒れ込んだ裏側の斜面の情報が得にくく、幾何補正やオルソ補正済みの画像にゆがみが大きくなる。このため、ポインティング角が 20 度未満の画像を選ぶことが望ましい。

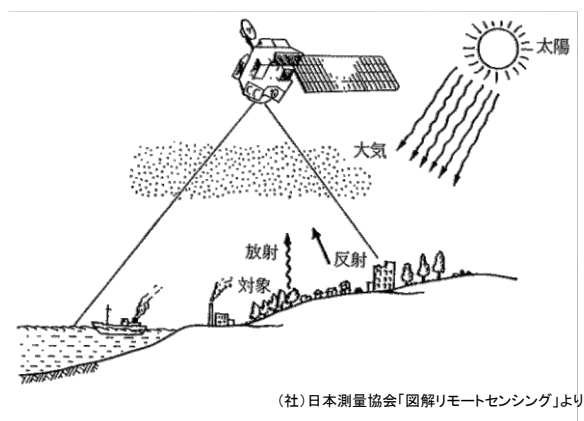


図 3-1 光学衛星画像撮影のイメージ

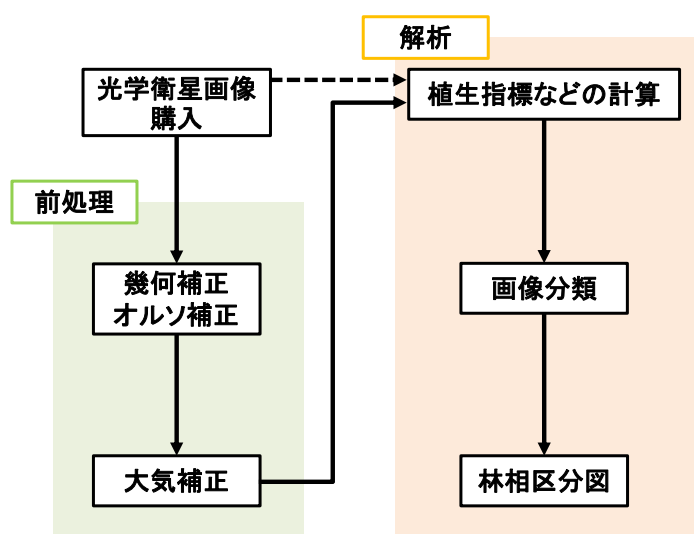


図 3-2 光学衛星画像による林相解析フロー

また、光学衛星画像による林相区分図を作成する過程で取得できるデータを表 3-1 に示す。

表 3-1 光学衛星画像から取得できるデータ

データ	概要
衛星画像	観測された各波長帯の輝度※値（ピクセル※（画素）値）を色調情報（赤緑青等）に割り当てて、植生の状況を把握できる画像。幾何補正、オルソ補正や大気補正により取得時の情報から作業や色調が若干変わる。
植生指標	赤や近赤外線※の波長帯の輝度値を使って、植生の識別に有効な指標を計算した画像。グレースケール（黒～白）で表現できる画像である。
林相区分図	衛星画像の各波長帯の輝度値や植生指標等の情報を基に林相を区分した分類図。スギ、ヒノキ、広葉樹等対象地の主要な樹種で分類される。

光学衛星画像の解像度により利用される調査項目が異なるため、解像度ごとに調査項目をまとめ、対応する光学衛星を示した表を表 3-2 に示す。

表 3-2 光学衛星画像の解像度による調査項目

解像度	調査項目	対応する光学衛星
2.5m	林相判読（自動判読） 林相による境界明確化 アーカイブデータによる境界明確化	ALOS, SPOT6,7
1.0m	地形による境界明確化（概略）	Quick Bird, Pleiades, Skysat, ALOS-3
0.5m	林相判読（目視判読）	World View2,3,4 GeoEye-1, ASNARO-1

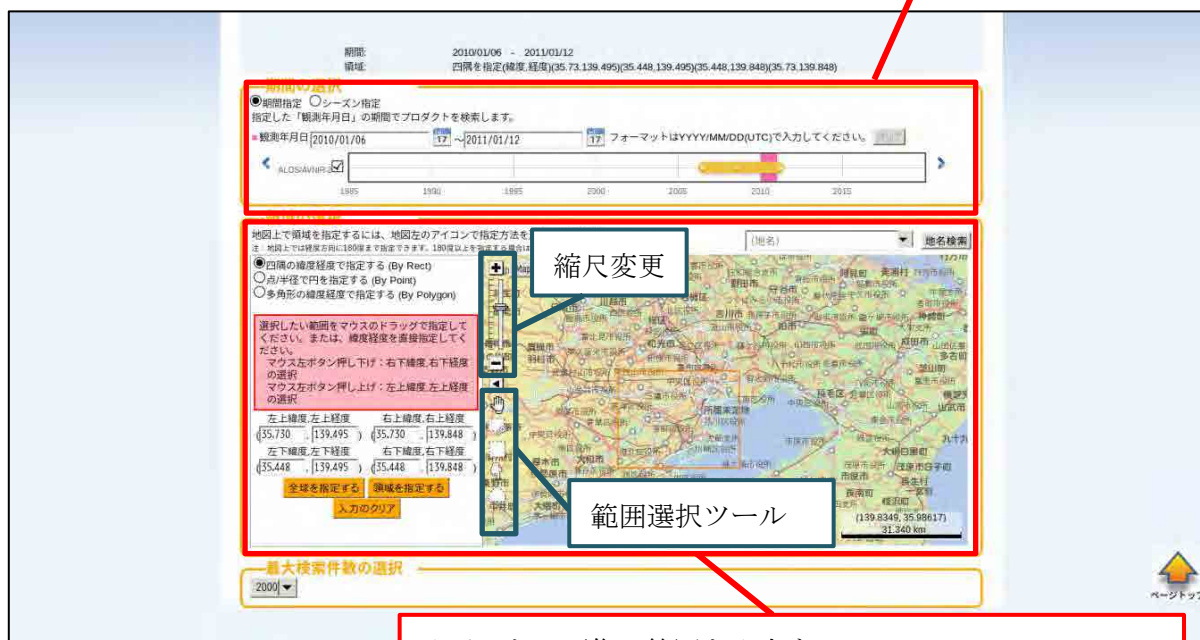
3.2 データ取得方法

光学衛星画像のアーカイブデータは各種サイトで検索することができ、検索した画像の ID を販売代理店に伝えることで購入できる。参考として ALOS 画像の検索フローを紹介する。

- ALOS 画像

G-Portal にて検索 (<https://www.gportal.jaxa.jp/gp/top.html>)





- 入手したい画像の範囲を入力する。
範囲の指定方法は以下の三種類
- ① 入手したい画像の範囲を四隅の緯度経度より指定
 - ② 入手したい画像の範囲を円で指定
 - ③ 入手したい画像の範囲を多角形ポリゴンにより指定



画像の詳細情報を表示

衛星名/センサ名	ALOS/AVNIR-2
センサ運用モード	OBS
観測開始日時(UTC)	2008-05-22 12:37:17+00
観測終了日時(UTC)	-
シーンID	ALAV2A1239
衛星方向	Ascending
パス番号	392
中心フレーム	760
ポインティング角(deg)	0.0
雲量(%)	0
シーン開始時刻(UTC)	2008-05-22 12:37:17+00
シーン左上角(緯度 経度)(deg)	140.52 37.967
シーン右上角(緯度 経度)(deg)	141.311 38.116
シーンセンタ時刻(UTC)	2008-05-22 12:37:17+00
シーンセンタ(緯度 経度)(deg)	37.735 141.007
シーン左下角(緯度 経度)(deg)	140.706 37.354
シーン右下角(緯度 経度)(deg)	141.491 37.503
ライン欠損数	0
総合品質コード	Good

衛星の撮影角度
(ポインティング角)

画像の中で雲が占める割合

- 代表的な販売代理店

- ① 一般財団法人リモート・センシング技術センター (RESTEC)

- 【問い合わせ部署】 ソリューション事業部

- 【問い合わせ電話番号】 03-6435-6789

- 【問い合わせアドレス】 data@restec.or.jp

- ② 日本スペースイメージング株式会社 (JSI)

- 【問い合わせ部署】 営業本部 営業第一部

- 【問い合わせ電話番号】 03-5204-2714

- 【問い合わせアドレス】 sales-g1@jsicorp.jp

3.3 代表的な機器

機器名	所属	運用 期間	解像度		カラー画像価格(解像度) ※オルソ補正済み	最低購入面積
			マルチ	パン クロ		
ALOS (だいち)	宇宙航空研究 開発機構 (JAXA)	2006-2011	10m	2.5m	5000 円/シーン(2.5m) 2018 年度に無償提供予定	4900 km ² (70km × 70km)
ALOS3		2020- (予定)	3.2m	0.8m	未定	未定
ASNARO-1	パスコ	2014-	2m	0.5m	-	-
GeoEye-1	DigitalGlobe (アメリカ)	2008-	1.64m	0.41m	6000 円/km ² (0.5m)	25 km ²
IKONOS		1999-2015	0.82m	3.3m	2,200~5,300 円/km ²	25 km ²
Pleiades	CNES	2011-	0.7m	2.8m	2,400 円/km ² (パンクロ)	25 km ²
Quick Bird-2	DigitalGlobe (アメリカ)	2001-2015	0.81m	2.44m	3,000 円/km ²	25 km ²
Rapid Eye	Planet Labs (アメリカ)	2008-	6.5m	×	260 円/km ² (5m) ※LEVEL 3A(オルソ補正) 280 円/km ² (5m) ※LEVEL 3B(高精度オルソ 補正)	4,000 km ²
SkySat	TeraBella	2013-	0.9m	2.0m	1,300 円/km ²	50 km ²
SPOT4	フランス国立 宇宙研究センター (フランス)	1998-2013	20m	10m	110 円/km ² (20m) 140 円/km ² (10m)	3,600 km ² (100 km ²) (1.5m 画像のみ)
SPOT5		2002-2015	10m	2.5m	230 円/km ² (5m)	
SPOT6,7		2012-	6m	1.5m	350 円/km ² (2.5m) 560 円/km ² (1.5m)	
THEOS	GISTDA(タイ)	2008-	15m	2.0m	155 円/km ² (パンクロ) 9.3 円/km ² (マルチ)	484 km ² (22km × 22km)
WorldView-2	DigitalGlobe (アメリカ)	2009-	1.84m	0.46m	6,000 円/km ² (0.5m) 7,700 円/km ² (0.4m)	25 km ²
WorldView-3		2014-	1.24m	0.31m	※0.3m 画像は WorldView-3,4 のみ	
WorldView-4		2016-	1.24m	0.31m	9,000 円/km ² (0.3m)	

※解像度は最小値を示す。

マルチは『マルチスペクトル※』、パンクロは『パンクロマティック※』の略。

4. 空中写真

メリット

- 目視判読により高精度な林相区分図を作成することができる
- アーカイブデータが豊富なため、撮影当時の施業状況等を把握することができる
- 林相やアーカイブデータを基とした境界確認に活用することができる
- 立体視※による標準地解析を行い、簡易に材積推定できる
- 航空レーザ※と比べてデータの取得費用が安価

デメリット

- 撮影時刻や地形によっては影が生じる可能性がある
- 詳細な地形情報を取得することができない
- 材積推定の精度が航空レーザと比較して低い
- 単木レベルの資源量の把握には適していない

4.1 技術的特徴

航空機に航空測量用カメラを搭載し、地表を撮影することで画像を取得する。一般的には可視光線（赤色波長、緑色波長、青色波長）で構成されているが、近年では非可視光線である近赤外線※波長帯が観測可能な機種も存在する。日本では 1961 年から全国の空中写真がおよそ 5 年間隔で撮影されている。基本的に平地・離島地域では国土地理院が、山岳地域では林野庁が都道府県と分担して撮影を行っている。当初はアナログ写真が主流であったが、2007 年頃からデジタル写真が多く使われるようになってきた。

主な利用目的は林相把握や立体視を用いた材積推定である。解析フローの一例を図 4-2 に示す。撮影した写真は位置情報を持たない画像であることから、オルソ補正により位置情報を持つオルソ画像※を作成する。オルソ画像の作成には専用のソフトが必要となるため、オルソ補正済みの画像を入手することを推奨する。オルソ画像を活用して林相の境界を目視判読することで、林相区分図を作成する。目視判読は QGIS や ArcGIS, TNTmips 等の GIS※ソフト上で実施することができる。なお、一般的にオルソ画像を作成するためには、オリジナルの空中写真及び撮影時の情報（外部標定要素※・内部標定要素※・撮影記録）が必要となる。

立体視を目的としている場合はオルソ補正されていない空中写真（解像度※は 30cm 以下が望ましい）と撮影時の情報である外部標定要素が必要となる。立体視ソフトによるサンプル解析により小班ごとの立木密度・平均樹高を算出し、林分密度管理図※に当てはめて対象小班の材積を算出する。上記の作業は専門的知識がなくとも森林立体視ソフト（「もりったい」等）により、解析することができる。空中写真により表層高※は求められるものの、詳細な地盤高※は取得できないことから、樹冠高※を求めるためにはアーカイブの地盤高の利用が必要となる。なお、評定した表層高の高さ精度が不十分な場合には、結果として樹冠高が不正確な情報となることから、樹冠高の精度を向上させるためには、GCP※を用いて表層高の高さを調整する必要がある。

空中写真から取得できるデータを表 4-1 に、精度についてとりまとめた結果を表 4-2 に示す。

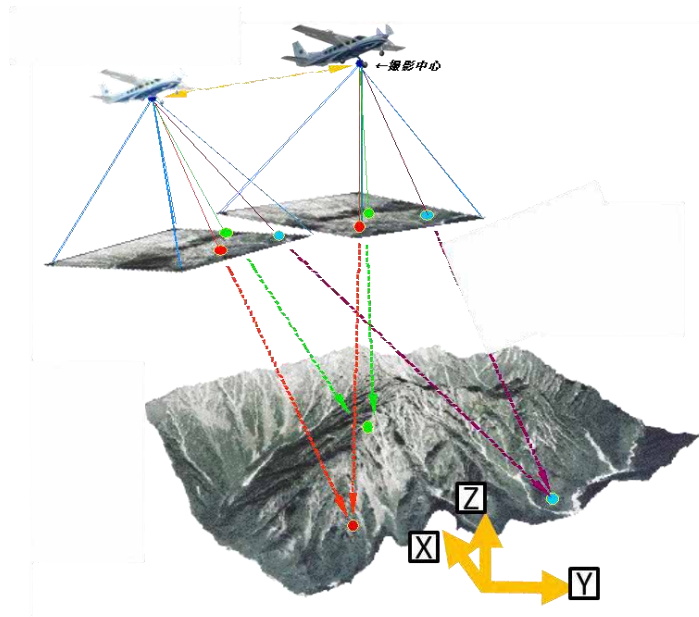


図 4-1 空中写真の計測イメージ

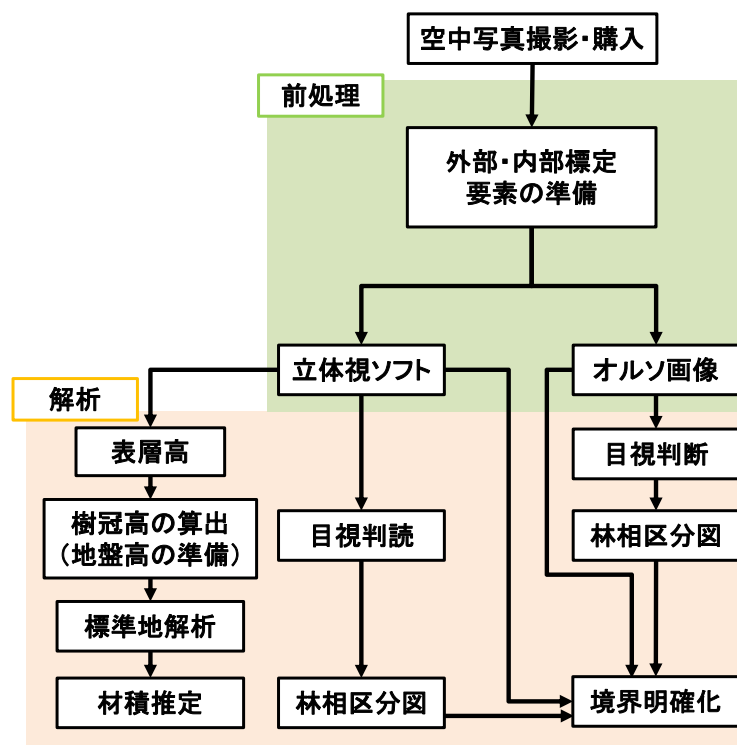


図 4-2 空中写真を用いたデータ解析フロー

表 4-1 空中写真から取得できるデータ

データ	概要
空中写真	地表を撮影した画像。近年ではデジタル写真が主流。立体視により標準地の立木本数や樹高を計測するための情報。
オルソ画像	倒れ込みのある空中写真を補正した画像。地物の位置情報が正確であるため、図化等に用いる。
林相区分図	空中写真の色調や樹冠の形状等の情報を基に林相を区分した分類図。スギ、ヒノキ、広葉樹等対象地の主要な樹種で分類される。
標準地解析結果	立体視により標準地の立木本数と樹高を計測した後に林分密度管理図※から材積を算出した森林資源情報。
材積推定	標準地データを小班等の森林管理単位に適用し、広域の材積分布を推定した情報。

表 4-2 空中写真により取得した森林情報の精度

項目	精度
樹種	針葉樹は約 7 割、広葉樹は約 8 割の分類精度 (オブジェクトベース分類※による結果の場合)
地形データ	取得できない
被圧木	把握できない
本数	平均誤差率 16.6% (立体視による目視判読と現地調査との比較)
樹高	平均誤差率 11.9% (立体視による目視判読 (1m メッシュ地盤高使用) と現地調査との比較)
胸高直径	把握できない
材積	平均誤差率 21.0% (立体視による目視判読 (本数と樹高) からの計算値と現地調査との比較)
曲がり	把握できない
画像位置精度	30cm 程度

※出典：「平成 24 年度デジタル森林空間情報利用技術開発事業のうち現地調査及びデータ解析・プログラム開発事業」報告書より

4.2 データ検索方法

日本では日本全土の空中写真撮影が複数回に渡って行われており、豊富なアーカイブデータが存在する。過去の空中写真を利用することで経費を削減できるほか、二時期の空中写真を比較することで、植栽当時の状況等の施業履歴等実施記録を基とした森林境界を確認する際の資料とすることができる。

4.2.1 林野庁撮影（山岳を主とする地域）

① 標定図の入手

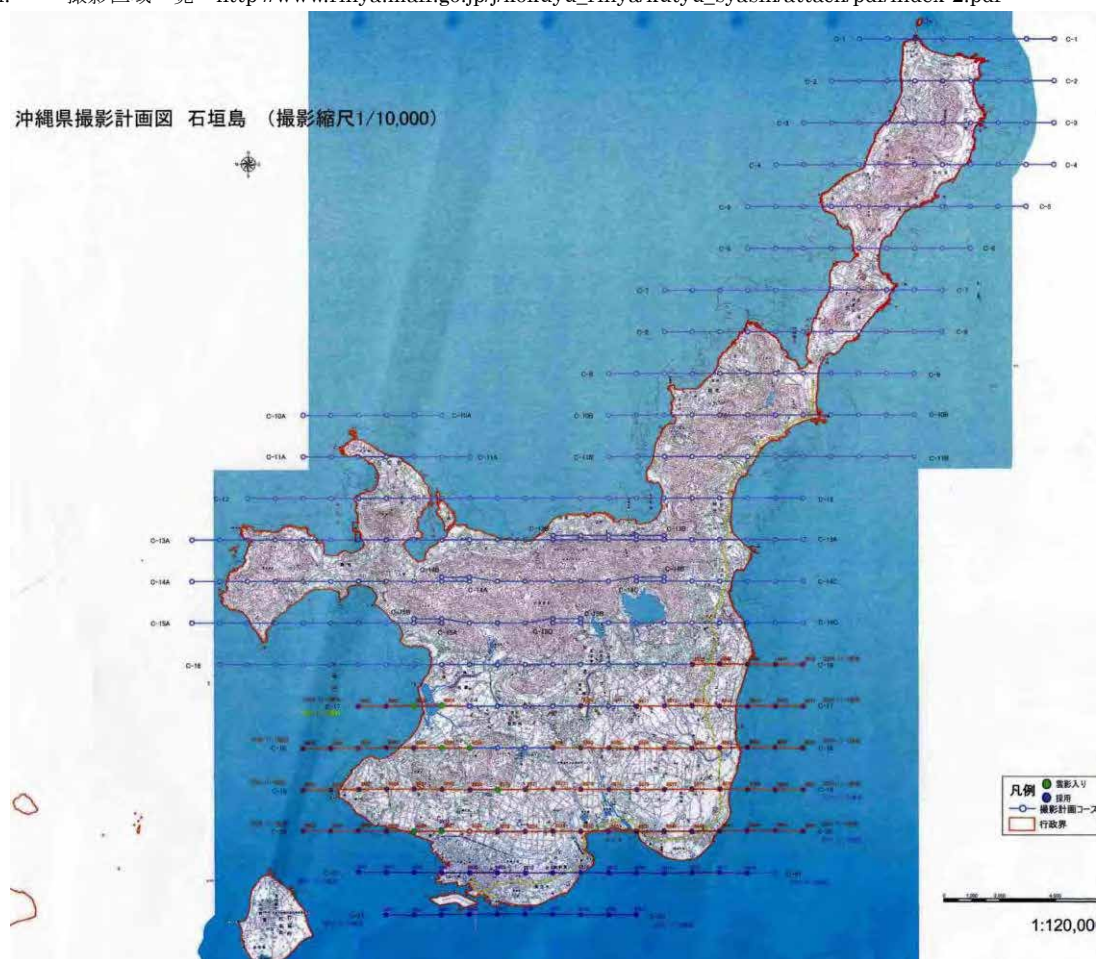
林野庁の撮影一覧図よりデータが必要な区域を特定し、林野庁から管理を委託されている管理委託業者に問い合わせることで対象地域周辺の撮影における標定図*を入手する。標定図とは、「撮影コース」「撮影ポイント」等を地図上に表記した写真である。

② 使用する空中写真の確定

標定図を判読し、必要な画像のコース番号、撮影番号を入手する。

林野庁撮影一覧図

- | | | |
|------|--------|---|
| i. | 北海道 | http://www.rinya.maff.go.jp/j/kokuyu_rinya/kutyu_syasin/attach/pdf/index-3.pdf |
| ii. | 東北 | http://www.rinya.maff.go.jp/j/kokuyu_rinya/kutyu_syasin/attach/pdf/index-6.pdf |
| iii. | 関東・中部 | http://www.rinya.maff.go.jp/j/kokuyu_rinya/kutyu_syasin/attach/pdf/index-5.pdf |
| iv. | 近畿 | http://www.rinya.maff.go.jp/j/kokuyu_rinya/kutyu_syasin/attach/pdf/index-7.pdf |
| v. | 中国・四国 | http://www.rinya.maff.go.jp/j/kokuyu_rinya/kutyu_syasin/attach/pdf/index-1.pdf |
| vi. | 九州 | http://www.rinya.maff.go.jp/j/kokuyu_rinya/kutyu_syasin/attach/pdf/index-4.pdf |
| vii. | 撮影区域一覧 | http://www.rinya.maff.go.jp/j/kokuyu_rinya/kutyu_syasin/attach/pdf/index-2.pdf |



日本地図センターHP より <http://www.jmc.or.jp/photohtz/minkan/3624/362441/01.jpg>

4.2.2 国土地理院撮影（平地周辺地域・離島）

撮影時期

撮影範囲

空中写真にチェック

プレビュー

検索結果

No.	作成・撮影年	分類	範囲
1	20150501(土)	空中写真カラー	☐
2	20150501(土)	空中写真カラー	☐
3	20150501(土)	空中写真カラー	☐
4	20150501(土)	空中写真カラー	☐
5	20150501(土)	空中写真カラー	☐
6	20150501(土)	空中写真カラー	☐
7	20150501(土)	空中写真カラー	☐
8	20150501(土)	空中写真カラー	☐
9	20150501(土)	空中写真カラー	☐
10	20150501(土)	空中写真カラー	☐

※空中写真（非オルソ処理）は1枚4,000円程度で購入可能である。購入の際には、オプションで入手形態を「デジタルデータ」に、カラー区分では「カラー」を選択して購入すること。

外部標定要素（撮影情報）を入手する際には、購入後日本地図センター（03-3485-5416）に連絡し、画像を購入した旨と外部標定要素の提供を依頼する必要がある。

4.3 代表的な機器

機器名	RCD30	
会社名	Leica Geosystems	
イメージサイズ	10,320×7,752pixels	
ピクセル※サイズ	5.2μm	
スペクトル等 カメラの特徴	カラー画像、近赤外画像の撮影が可能	

参照 : <https://leica-geosystems.com/products/airborne-systems/imaging-sensors>

機器名	UltraCam-Xp w/a	
会社名	Microsoft	
イメージサイズ	17,310×11,310pixels	
ピクセルサイズ	6μm	
スペクトル等 カメラの特徴	カラー画像、近赤外画像の撮影が可能	

参照 : <https://www.geoshop.hu/images/static/UltraCamXpwa-Specs-0709.pdf>

機器名	DMC II 230	
会社名	Z/I イメージング	
イメージサイズ	12,096×11,200pixels	
ピクセルサイズ	7.2μm	
スペクトル等 カメラの特徴	カラー画像、近赤外画像の撮影が可能	

参照 : http://www.ajiko.co.jp/dl/pdf_tf2014/p18-19.pdf

機器名	Penta DigiCAM	
会社名	IGI	
イメージサイズ	11,608×8,708pixels	
ピクセルサイズ	4.6μm	
スペクトル等 カメラの特徴	カラー画像、近赤外画像の撮影が可能 斜め画像を含む五方向の画像を同時に取得することが可能	

参照 : <http://www.igi-systems.com/penta-digicam.html>

5. 航空レーザ

メリット

- 計測密度が 4 点/㎡以上であれば、単木解析による材積推定ができる
- 計測密度が 1 点/㎡以上であれば、エリアベース解析による材積推定ができる
- 樹冠下の詳細な地形情報を表現した微地形表現図※を作成することで、従来の図面ではできなかった詳細な地形把握を行うことができる
- 詳細な地形情報を活用することで、路網の把握や設計を行うことができる
- 広範囲を効率的に計測でき、地形情報・森林情報を同時に取得することができる
- レーザ計測と同時に空中写真を撮影することができる

デメリット

- レーザ計測によるデータ整備が遅れており、アーカイブデータは限られている
- 単木解析では上層を形成していない被圧木を計測することはできない
- 空中写真と比較して面積当たりの計測単価が高い

5.1 技術的特徴

航空レーザ※は、固定翼や回転翼といった航空機にレーザ測距装置、GNSS※、IMU 装置※、画像撮影装置を搭載し、レーザ光を発射して地表から反射し戻ってくる時間を測ることで航空機と地表の距離を計測する。レーザ計測の照射パルス※のビーム径（フットプリント）は地上に近づくにつれて大きくなり、樹木がある程度繁茂していても、林床に光が到達することと同様にレーザビームはギャップを通り、樹冠下の地形情報を取得できることが最大の特徴である。また、航空レーザでは空中写真の撮影を同時に行うため、空中写真の解析を併せて行うことができる。

航空レーザの主な目的は森林情報、地形情報の取得であるが、レーザ計測密度によって取得できるデータが異なるため解析フローも異なる。計測密度 1 点/㎡のレーザデータによる解析フローの一例を図 5-2 に、計測密度 4 点/㎡のレーザデータによる解析フローの一例を図 5-3 に示す。

森林解析の場合、1 点/㎡データ、4 点/㎡データに共通する作業としてレーザデータの前処理を行う。レーザデータから森林の表層高※と地盤高※を取得し、その差分を取ることで森林の高さデータである樹冠高※を作成する。作成した樹冠高が 1m メッシュ※の場合（1 点/㎡データ）はエリアベース解析（p.11）による材積推定を、0.5m メッシュの場合（4 点/㎡データ）は単木解析（p.11）による材積推定を行う。

地形解析の場合、前処理において作成した地盤高を用いて起伏や斜面傾斜等を強調し地形をわかりやすく表現した「微地形表現図（p.17）」を作成する。作成した微地形表現図を GIS※上に表示することで、既設路網や地形を基に森林境界を作図することができる。また、4 点/㎡のレーザデータであれば、路網作成支援ソフトで、新規の路網設計を行うことができる。前処理の工程は専門的な知識と、ソフトが必要であるが、既設路網の把握、新規路網の設計、地形を基とした森林境界の明確化等の解析は必要なデータ・ソフトがあれば、自ら行うことができる。

航空レーザで取得できるデータを表 5-1 に、精度についてとりまとめた結果を表 5-2 に示す。



図 5-1 航空レーザの計測イメージ

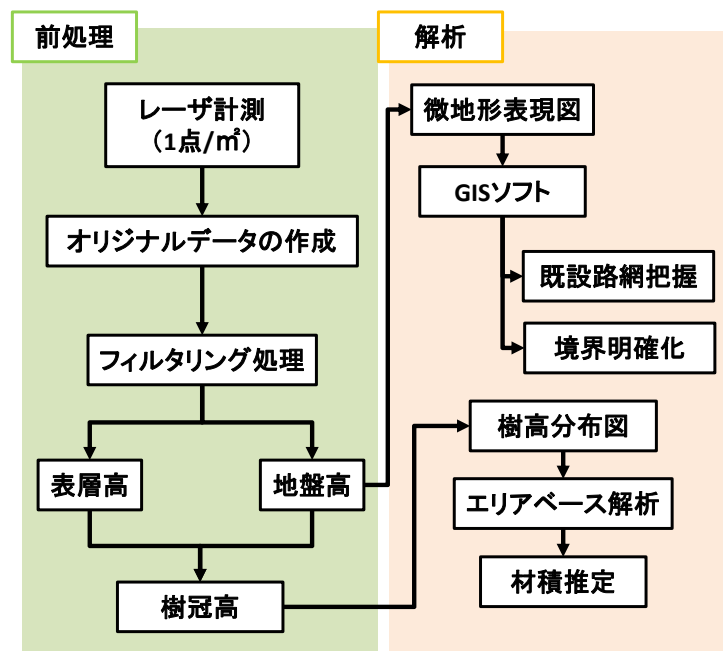


図 5-2 1 点/m²密度のレーザデータによる解析フロー

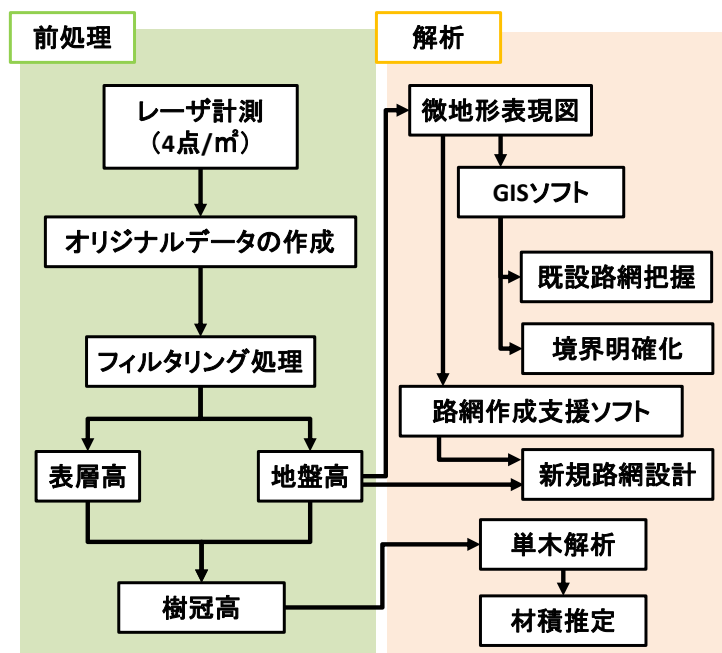


図 5-3 4 点/m²密度のレーザデータによる解析フロー

表 5-1 航空レーザから取得できるデータ

データ	概要
空中写真	地表を撮影した画像。航空レーザで計測した地表物を確認するために撮影される
オルソ画像※	空中写真を地表面情報に合わせて位置を補正した写真
林相識別図※	航空レーザで得られた反射強度や樹冠高等を基にして、樹種の識別が容易にできる画像
林相区分図	空中写真の色調や樹冠の形状等の情報を基に林相を区分した分類図。スギ、ヒノキ、広葉樹等対象地の主要な樹種で分類される
地盤高	0.5m等のメッシュサイズの地盤高
等高線図	地盤高から作成した等高線図
微地形表現図	地盤高から作成する視覚的に地形を識別できる地図
樹高分布図	任意のメッシュサイズで樹冠高データの最大値を計算し、樹高を表す図
単木資源情報	樹冠の凹凸情報から樹木位置を抽出し、樹高、胸高直径、材積等の情報を毎木で整備した GIS※情報
材積推定	小班等の森林管理単位でエリアベース材積や単木情報を集計し、広域の材積分布が把握できる情報

表 5-2 航空レーザ（4 点/m²）により取得した森林情報の精度

項目	精度
樹種	空中写真の他、航空レーザの反射強度を利用した林相区分図も活用することができるため、空中写真のみの場合よりも精度は向上する
地形データ	0.5m 間隔の地盤高が作成可能
被圧木	把握できない
本数	針葉樹の場合、平均誤差率約 10% 広葉樹は計算できない
樹高	針葉樹の場合、平均誤差率約 5~10%
胸高直径	針葉樹の場合、平均誤差率約 15%.（一定範囲の林分において）
材積	針葉樹の場合、平均誤差率約 20% 広葉樹の場合、平均誤差率約 30%
曲がり	把握できない
位置精度	水平位置精度 30~50cm、垂直位置精度 20cm 以内

※出典：複数の導入事例・ヒアリング結果より平準的な数値を示す

5.2 データ取得方法

5.2.1 アーカイブデータ

過去に公共測量によって取得された航空レーザ測量データは航空レーザ測量データポータルサイト (<http://www.sokugikyo.or.jp/laser/portal/>) で確認することができる。航空レーザ測量データポータルサイトでは、計測範囲や計測密度等が検索可能である。

The image shows two screenshots of the Aerial Laser Measurement Data Portal Site. The top screenshot displays the search interface with various filters. The bottom screenshot shows a map view with a data summary pop-up.

Top Screenshot: Search Interface

- 地域検索 (Region Search):** A dropdown menu for selecting a region, with a red box highlighting the selection area.
- 対象地域 (Target Area):** A map showing the selected region, with a red box highlighting the area.
- 計測密度 (Measurement Density):** A dropdown menu for selecting measurement density, with a red box highlighting the selection area.
- 計測時期 (Measurement Period):** A dropdown menu for selecting the measurement period, with a red box highlighting the selection area.
- データ検索 (Data Search):** A section containing search filters for management (管理者), measurement period (計測期間), measurement density (計測密度), and measurement company (計測会社).

Bottom Screenshot: Map View

- データ概要 (Data Summary):** A pop-up window showing details for a specific data point, with a red box highlighting the summary area.
- 左クリック (Left Click):** A red arrow pointing to the data summary pop-up, indicating that a left click on the map triggers this action.

5.2.2 新規データ

外部委託により新規計測する場合、対象範囲と計測点密度に注意する必要がある。

(1) 「対象範囲」

航空レーザにおいては、図 5-3 に示すとおり「地形データを取得する範囲」と「森林解析の対象範囲」の二つを決める必要がある。森林資源情報の取得のみを目的とする場合、森林区域のみの地形データを計測することで森林解析が可能であるが、搬出等に用いる路網データの整備を行う場合は、森林区域のみではなく、森林の周辺を含めた地形データを取得し、地形解析を行う必要がある。

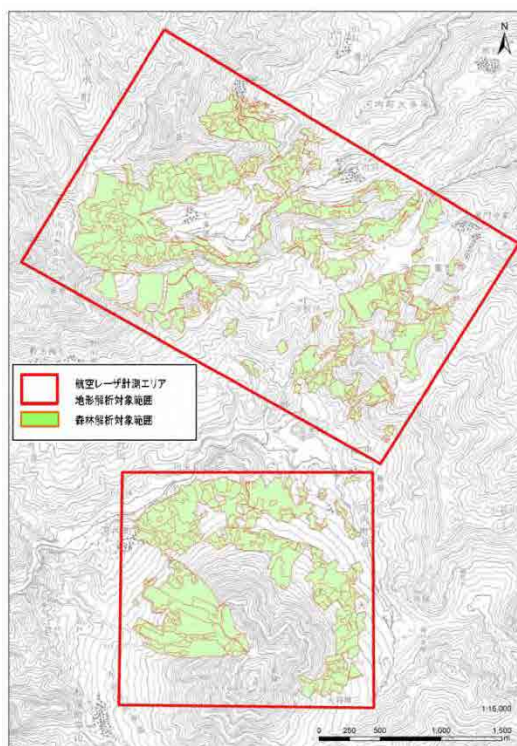


図 1.4.1 業務範囲

図 5-4 対象範囲の設定事例

(H27 航空レーザによる森林資源等解析業務【熊本県】)

(2) 「計測点密度」

計測点密度と計測対象地の高低差によって、飛行高度、スキャンレート※、パルスレート※、ラップ率※が変化し、最適のコース数が決定する。計測点密度を増やすと得られる精度が向上するが、計測単価が増加する。なお、単木レベルの森林資源情報を取得するためには計測点密度は 4 点/㎡が必要であり、現在森林・林業分野における航空レーザ計測では 4 点/㎡以上の密度で計画されることが一般的になってきている。

5.3 代表的な機器

機器名	ALS70-HP	
会社名	Leica Geosystems	
最大測定飛行高度	3,500m	
パルスレート	500kHz	
プラットフォーム	固定翼	

参照 : http://w3.leica-geosystems.com/downloads123/zz/airborne/ALS70/brochures/Leica_ALS70_6P_BRO_en.pdf

機器名	ORION M300	
会社名	Optech	
最大測定飛行高度	2,500m	
パルスレート	300kHz	
プラットフォーム	固定翼	

参照 : <https://www.teledyneoptech.com/wp-content/uploads/ORION-M-Specsheet-140624-WEB.pdf>

機器名	LMS-Q780	
会社名	Riegl	
最大測定飛行高度	2,600m	
パルスレート	400kHz	
プラットフォーム	固定翼	

参照 : <http://www.riegl-japan.co.jp/product/airborne/riegl-lms-q780.html>

機器名	Harrier68i	
会社名	Trimble	
最大測定飛行高度	1,600m	
パルスレート	400kHz	
プラットフォーム	回転翼	

参照 : <http://www.digimapas.cl/about/th68i.pdf>

6. UAV 写真

メリット

- 詳細に林相を把握することができる
- 標準地解析とエリアベース解析による材積推定ができる
- 機動性に優れ、高頻度の撮影が可能のため、森林情報の更新に有効な手段となり得る
- 一定水準の技能等を習得することで、自ら安価に高解像度の UAV^{*}写真を取得することができる
- SfM^{*}解析ソフトを利用することで、自らオルソ画像^{*}、三次元点群情報を作成することができる

デメリット

- 広範囲のデータ取得には適していない
- 材積の推定精度が航空レーザ^{*}と比較して低い
- 詳細な地形情報を取得することができない

6.1 技術的特徴

人が遠隔操縦する UAV にカメラを搭載し、地表を撮影することで取得する。事前に設定したルートを実行する機能を持つ機体もあり、機体も年々低価格化が進んでいるため、利用が広がっている。UAV は固定翼と回転翼に分けられる。固定翼は 40～50 分の飛行、広範囲の撮影に適しているが、離発着地として上空が広く開けた空間を要する。一方回転翼は 20～30 分程度の飛行時間であるため固定翼と比べて狭い範囲での撮影となるが、ピンポイント座標での離発着が可能であるため、離発着地の制限が緩和される。

また、UAV で取得した写真を市販のソフトで解析して、オルソ画像を作成することができる。なお、この場合に GCP^{*}や地盤高^{*}等を基にした画像の補正を行わずに解析することができるが、オルソ画像の位置精度が低く、他時期に撮影した画像との比較の際には位置情報を補正する作業が必要になる可能性が高い。この作業を避けるためには対空標識を設置し、その位置を GNSS^{*}観測することで、オルソ処理の際に GCP として活用する必要がある。

UAV 写真の利用目的として、数百 ha 以下の小面積における林相把握や材積推定の把握が挙げられる。一度森林資源量を広域的に整備した地区においては、施業等により森林変化が起こった林分を再度撮影し解析することで、最新の森林情報に更新することが可能となる。材積推定の方法としては標準地から全体を推定する標準地法 (p.9) と樹冠高^{*}から材積を把握するエリアベース解析 (p.11) がある。森林解析フローの一例を図 6-2 に示す。UAV 写真は比較的簡単に写真を撮影することができるが、運用にあたっては地盤高が取得できないことや、位置情報の精度向上のためには GCP が必要なこと等に注意する必要がある。また、SfM ソフトで作成される表層高^{*}は UAV の GNSS の精度に影響し、十分な高さ精度を持たず、アーカイブの地盤高を用いて樹冠高を計算した結果、樹冠高の高さが不正確になることがある。このため、アーカイブの地盤高との差分計算を行う際は表層高を GCP で高さ調整することが必要となる。

UAV 写真で取得できるデータを表 6-1 に、精度についてとりまとめた結果を表 6-2 に示す。

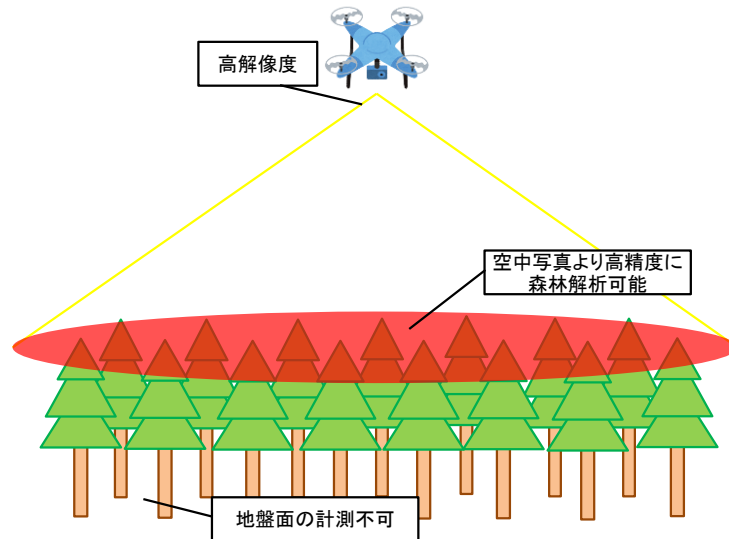


図 6-1 UAV 写真の計測イメージ

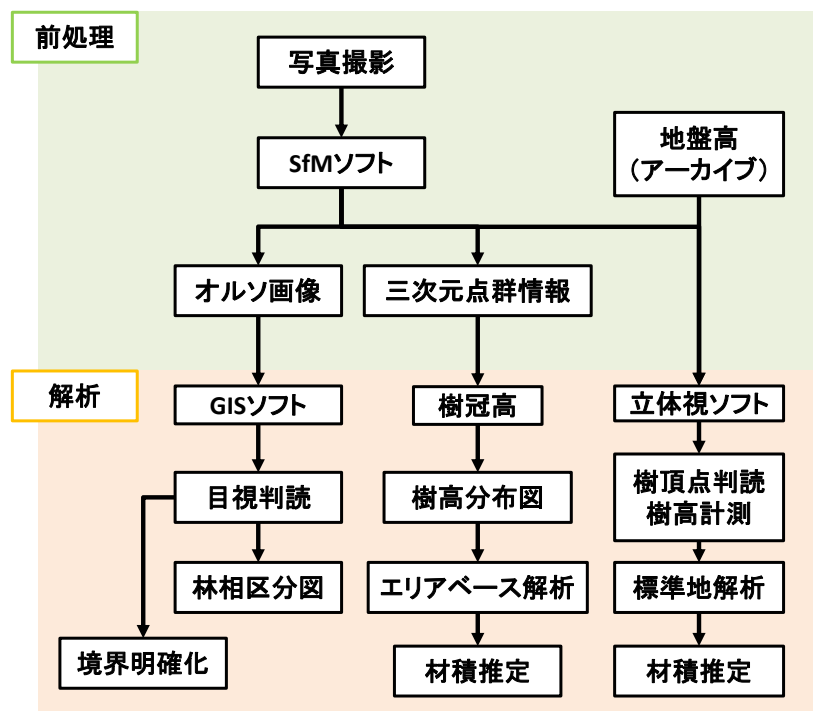


図 6-2 UAV 写真による解析フロー

表 6-1 UAV 写真から取得できるデータ

データ	概要
UAV 写真	地表を撮影した画像。立体視※により標準地の立木本数や樹高情報、及び SfM※ソフトにより三次元情報を作成するための情報
オルソ画像	UAV 写真を地表面情報に合わせて位置を補正した写真
林相区分図	UAV 写真の色調や樹冠の形状等の情報を基に林相を区分した分類図。スギ、ヒノキ、広葉樹等対象地の主要な樹種で分類される。空中写真に比べて詳細な区分ができる
標準地解析結果	立体視により標準地の立木本数と樹高を計測した後に林分密度管理図※から材積を算出した森林資源情報
樹高分布図	任意のメッシュ※サイズで樹冠高の最大値を計算し、樹高を表す図
材積推定	標準地データやエリアベース材積を小班等の森林管理単位に適用し、広域の材積分布を推定した情報

表 6-2 UAV 写真により取得した森林情報の精度

項目	精度
樹種	高い精度で分類可能（解像度※により変動）
地形データ	取得できない
被圧木	把握できない
本数	目視判読では上層木の識別はほぼ 100% 以下、先行研究事例による参考値 SfM を用いた単木解析では過小になりやすい 対地高度※50m では平均誤差率約 20% 対地高度 100m では平均誤差率約 35%（Phantom4）
樹高	対地高度 50m,100m とともに、平均誤差率約 5%（Phantom4）
胸高直径	以下、先行研究事例による参考値 対地高度 50m,100m とともに、平均誤差率約 10%（Phantom4）
材積	対地高度 50m では平均誤差率約 25% 対地高度 100m では平均誤差率約 40%（Phantom4）
曲がり	把握できない
画像位置精度	GCP なし：10m 程度、GCP あり：10cm 程度

※出典：平成 28 年度森林調査等におけるレーザ計測（航空・地上）活用手法の開発 報告書

6.2 UAV 飛行に関するガイドライン

近年、UAV が急速に普及し、趣味やビジネスを目的とした利用者が急増している。「空の産業革命」とも言われ、新たな産業創出の機会の増加が期待されている。リモートセンシングの分野でも新プラットフォームとして注目され、さまざまなセンサを搭載する等、その利用および研究開発が盛んに実施されている。

一方、UAV が飛行することで、有人航空機の安全が損なわれることや、地上の人や建物・車両等に危害が及ぶことはあってはならない。このため、改定航空法（平成 27 年法律第 67 号）では、UAV の飛行に関する基本的なルールが定められている。

以下に、UAV を飛行させるにあたっての遵守すべき法律・規制及び習得すべき知識や技能についてまとめる。

6.2.1 遵守すべき法律・規制

1. 遵守すべき法律・規制

(1) 航空法（国土交通省）

無人航空機を安全に飛行させるための条項が追加されている。

① 無人航空機の定義

「人が乗ることができない飛行機、回転翼航空機、滑空機、飛行船であって、遠隔操作又は自動操縦により飛行させることができるもの（機体総重量が 200g 以上のもの）」

② 飛行に関する規定

無人航空機を飛行させる際には、飛行する場所と飛行させる方法について以下のように規定されている。

・飛行禁止区域

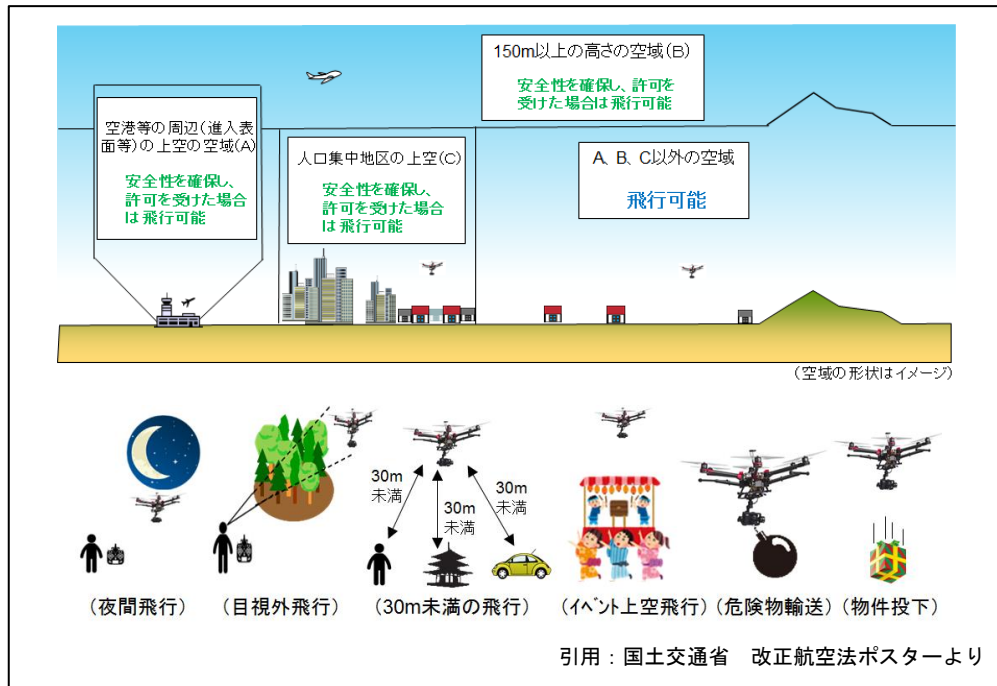
空港等の周辺（進入表面等）の上空、人口集中地区（DID : Densely Inhabited District）および 150m 以上の高さの空域では原則飛行は禁止されている。

・飛行の方法

飛行させる場所に関わらず無人航空機を飛行させる場合には、以下のルールを守る必要がある。

- 日中（日出から日没まで）に飛行させること
- 目視（直接肉眼による）範囲内で無人航空機とその周囲を常時監視して飛行させること
- 第三者又は第三者の建物、第三者の車両等の物件との間に距離（30m 以上）を保って飛行させること
- 祭礼、縁日等多数の人が集まる催し場所の上空で飛行させないこと
- 爆発物等危険物を輸送しないこと
- 無人航空機から物を投下しないこと

これらのルールによらず無人航空機を飛行させようとする場合には、安全面の措置をした上で、国土交通大臣の許可・承認を受ける必要がある（無人航空機の飛行に関する許可・承認申請）。



飛行禁止区域と承認が必要となる飛行方法

【参考】

無人航空機（ドローン、ラジコン機等）の安全な飛行のためのガイドライン（国土交通省）

<http://www.mlit.go.jp/common/001128047.pdf>

無人航空機（ドローン・ラジコン機等）の飛行ルール（国土交通省）

http://www.mlit.go.jp/koku/koku_tk10_000003.html

(2) 航空法以外の各種法令

無人航空機を飛行させるには航空法以外にも次の法令等も確認しておく必要がある。

① 電波法

2018 年 3 月現在、免許不要で無人航空機の操縦に使用が認められている電波の周波数は 2.4Ghz 帯である。これらの無線機器には「技適マーク」が表示されている。2016 年 8 月に電波法が改正され、無人航空機飛行に使用可能な周波数帯が新たに追加されたが、無線に関する国家資格と無線基地局開設の許可申請が必要である。

【参考】

ドローン等に用いられる無線設備について（総務省）

<http://www.tele.soumu.go.jp/j/sys/others/drone/>

② 道路交通法

無人航空機に関する明確な記述はないが、公道を飛行する場合は管轄する警察署長の許可が必要になる。

③ 民法

第三者の所有する土地で無人航空機を飛行する場合は、基本的には所有者の許諾を得る必要がある。

④ 迷惑防止条例

第三者のプライバシーを侵害するような飛行は禁止されている。

⑤ 公園条例・重要文化財保護法

公園や文化財の管理者が飛行を禁止している場合がある。

⑥ 海岸法・河川法

自治体や土木事務所等の管理者に届出が必要な場合がある。

6.2.2 保険の加入

UAV の操縦に際して万全の注意を払っていても、不測の事態で UAV を墜落させ、第三者や第三者の所有物に損害を与えてしまう可能性がある。そのため、賠償保険（対人・対物の損害賠償）に加入しておくことが望ましい。

6.2.3 飛行に関する知識と技能の習得

日本では 2018 年 3 月現在、国家資格としての免許制ではないため飛行に関するライセンスは不要であるが、国土交通省の定めている「無人航空機飛行マニュアル」では、操縦士に必要とされる知識・技能として以下のように定めている。そのため、航空法の規制範囲内の飛行であっても、最低限の操縦技能としてこのマニュアルに準じた知識と技能を習得しておくことが望ましい。

なお、このマニュアルは UAV を飛行させる際に必要とされる UAV の点検・整備、操縦士の訓練及ぶ遵守事項、安全確保のために必要な体制等について記載されている。

(1) 基本的な操縦技量の習得（無人航空機飛行マニュアルより抜粋）

送信機（プロポ）操作に慣れるため、以下の操作が容易にできるようになるまで10時間以上の操縦練習を実施する。なお、操縦練習の際には、十分な経験を有する者の監督の下に行うものとする。訓練場所は許可等が不要な場所又は訓練のために許可等を受けた場所で行う。

項 目	内 容
離着陸	操縦者から 3m 離れた位置で、3m の高さまで離陸し、指定の範囲内に着陸すること。この飛行を 5 回連続して安定して行うことができること。
ホバリング	飛行させる者の目線の高さにおいて、一定時間の間、ホバリングにより指定された範囲内（半径 1m の範囲内）にとどまることができること。
左右方向の移動	指定された離陸地点から、左右方向に 20m 離れた着陸地点に移動し、着陸することができること。この飛行を 5 回連続して安定して行うことができること。
前後方向の移動	指定された離陸地点から、前後方向に 20m 離れた着陸地点に移動し、着陸することができること。この飛行を 5 回連続して安定して行うことができること。
水平面内での飛行	一定の高さを維持したまま、指定された地点を順番に移動することができること。この飛行を 5 回連続して安定して行うことができること。

(2) 業務を実施するために必要な操縦技量の習得と維持（無人航空機飛行マニュアルより抜粋）

基礎的な操縦技量を習得した上で、以下の操作が可能となるよう訓練を実施する。訓練場所は許可等が不要な場所又は訓練のために許可等を受けた場所で行う。

項 目	内 容
対面飛行	対面飛行により、左右方向の移動、前後方向の移動、水平面内での飛行を円滑に実施できるようにすること。
飛行の組合	操縦者から 10m 離れた地点で、水平飛行と上昇・下降を組み合わせ、飛行を 5 回連続して安定して行うことができること。
8 の字飛行	8 の字飛行を 5 回連続して安定して行うことができること。

(3) 知識と技能等の習得方法

UAV の飛行技能や安全運航に関する知識を習得するには、独学で行う方法と民間団体が独自に行うドローンスクールに参加する方法がある。

ドローンスクールは、いずれも民間資格ではあるがそれぞれ修了証や認定証を発行している。国土交通省の WEB サイトに掲載されている UAV 等の操縦者に対する技能認証を実施する講習団体は 154 団体、これらの講習団体を管理する民間団体は 15 社ある（2018 年 3 月 1 日現在）。

なお、これらの講習団体の講習を修了した者は、国土交通省に飛行許可承認の申請を行う際に必要な「無人航空機を飛行させる者に関する飛行経歴・知識・能力確認書」の提出を、講習団体を管理する団体の発行する操縦技能の認定証をもって省略することができる。

【参考】

無人航空機の講習団体及び管理団体一覧（国土交通省）

<http://www.mlit.go.jp/common/001221588.pdf>

6.3 データ取得方法

安全に飛行させることができる者であれば自ら撮影し取得することができる。撮影する際には「写真のラップ率※」と「機体の対地高度」について注意する必要がある。

(1) 写真のラップ率

UAV 写真からオルソ画像の作成や材積推定の把握を行う場合、最低でもオーバーラップ※80%以上、サイドラップ※60%以上で撮影を実施する必要がある。サイドラップは UAV の GNSS 精度や風の影響を考慮し、80%以上とすることが多い。

(2) 機体の対地高度

機体直下の地盤高と機体との距離を示した数値。対地高度が低いと写真の解像度が高くなるが、一枚当たりの撮影範囲が狭くなるため、飛行コース数が増加する。一方、対地高度が高い場合には、写真の解像度が低くなるが、一枚当たりの撮影範囲が広くなり、飛行コース数は減少する。目的に合わせ、対地高度を決定する必要があり、50~100m の対地高度で撮影をする事例が多い。

6.4 SfM 解析代行サービス

UAV 写真を撮影後、オルソ画像や三次元点群情報を取得するためには SfM[※]解析を実施する必要があります。SfM 解析については自らソフトウェアを導入し解析するほか、各社の提供している SfM 解析サービスを活用する方法がある。サービス提供会社のクラウド[※]に UAV 写真をアップロードする等して解析を依頼し、オルソ画像・三次元点群情報を利用することができる。

サービス提供会社

- 朝日航洋株式会社
 - 【提供サービス】ドローン測量サービスくみき
 - 【HP】<http://smx-kumiki.com/>
 - 【価格】3000 円/月（月間処理画像 50 枚まで）
30,000 円/月（月間処理画像 3000 枚まで）
100,000 円/月（月間処理画像 5000 枚まで）
- アジア航測株式会社
 - 【提供サービス】3D モデリングサービスサイト
 - 【HP】<http://www.ajiko.co.jp/news/2017/20170705besshi.pdf>
 - 【価格】200,000 円～（画像枚数によって変動、3D ビューワー込）
- 国際航業株式会社
 - 【提供サービス】三次元空間解析クラウドサービス「KKC-3D」
 - 【HP】http://www.kkc.co.jp/service/biz_solution/kkc-3d.html
 - 【価格】5,000 円/月（基本料金）
7,200～150,000 円/1 プロジェクト（利用料金：画像の枚数、プランによって変動）

6.5 代表的な機器

機器名	Phantom 4 pro	
会社名	DJI	
重量	1388g	
最大飛行時間	約 30 分	
自動飛行	可	
緊急時自動帰還	有	
価格	204,000 円	

参照 : <https://www4.djicdn.com/assets/images/products/phantom-4-pro/s1/e-6-aa05ac9435bad40cb7df3e039d1012ff.png?from=cdnMap>

機器名	MAVIC Pro	
会社名	DJI	
重量	743g	
最大飛行時間	～約 27 分	
自動飛行	可	
緊急時自動帰還	有	
価格	129,800 円	

参照 : https://store.dji.com/jp/product/mavic-pro?site=brandsite&from=buy_now_bottom

機器名	Zion QC730	
会社名	enRoute	
重量	4,500g	
最大飛行時間	～約 40 分	
自動飛行	可	
緊急時自動帰還	有	
価格	1,600,000 円 (PC やトレーニング 含)	

参照 : <https://enroute1.com/portfolio-posts/zion-qc-730/>

機器名	eBee	
会社名	Parrot	
重量	690g	
最大飛行時間	～約 50 分	
自動飛行	可	
緊急時自動帰還	有	

参照 : <http://www.geosurf.net/products/uav/uav.html>

7. UAV レーザ

メリット

- 航空レーザ※よりも計測密度が高く、より詳細な単木情報・地形情報を取得できる
- 機動性に優れ、高頻度の計測が可能のため、森林情報の更新に有効な手段となり得る

デメリット

- 広範囲のデータ取得には適さない
- 単木解析では上層を形成していない被圧木を計測することはできない
- 計測機器が高価であり、単位面積あたりの計測単価も高価である

7.1 技術的特徴

人が遠隔操縦する UAV※に小型のレーザ測距装置を搭載し、上空からレーザを照射することで三次元情報を取得する。航空レーザよりも低い高度で計測でき、計測密度が上がるため、より詳細に森林情報を取得することができる。一方で、航空レーザと異なり、UAV レーザでは、レーザセンサとカメラを同時に搭載できないため、同一フライトで 2 種類のセンサを利用することができない。機体・レーザ機器ともに高額であり、専門知識が必要なため、外部委託により計測を行うことになる。

UAV レーザでは積載重量に十分な余裕がないことから、カメラを搭載しないことが一般的で UAV 写真は取得できないものの、航空レーザと同様に反射強度を取得できることから、林相識別図※を作成して、林相判読※を行うことができる。また、UAV レーザを用いた材積推定ではレーザ計測密度が十分に密であるため、単木解析 (p.11) を用いる。

UAV レーザ計測から取得できるデータを表 7-1 に、UAV レーザ計測から取得できるデータの精度を表 7-2 に示す。

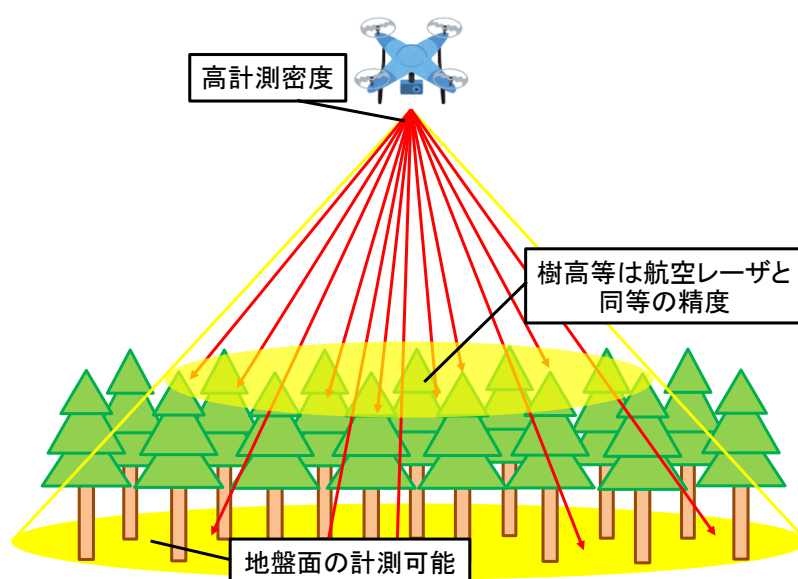


図 7-1 UAV レーザの計測イメージ

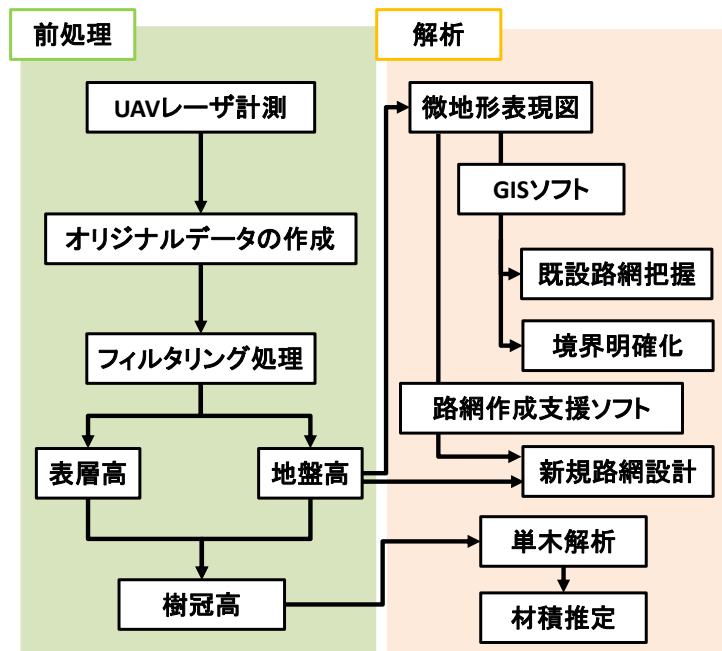


図 7-2 UAV レーザの解析フロー

表 7-1 UAV レーザから取得できるデータ

データ	概要
林相識別図※	UAV レーザで得られた反射強度や樹冠高※等を基にして、樹種の識別が容易にできる画像
林相区分図	林相識別図の情報を基に林相を区分した分類図。スギ、ヒノキ、広葉樹等対象地の主要な樹種で分類される
地盤高※	計測密度にもよるが、0.1m等のメッシュ※サイズの地盤高
等高線図	地盤高から作成した等高線図
微地形表現図※	地盤高から作成する視覚的に地形を識別できる地図
単木資源情報	樹冠の凹凸情報から樹木位置を抽出し、樹高、胸高直径、材積等の情報を毎木で整備した GIS※情報
材積推定	小班等の森林管理単位で単木情報を集計し、広域の材積分布が把握できる情報

表 7-2 UAV レーザにより取得した森林情報の精度

項目	精度
樹種	高い精度で分類が可能
地形データ	0.1m 間隔の地盤高が作成可能
被圧木	把握できない
本数	針葉樹の場合、平均誤差率約 5%. 広葉樹は計算できない
樹高	針葉樹の場合、平均誤差率約 5~10%
胸高直径	針葉樹の場合、平均誤差率約 10%
材積	針葉樹の場合、平均誤差率約 15~20%
曲がり	把握できない
位置精度	水平位置精度 30~50cm、垂直位置精度 20cm 以内

※出典：「森林の維持管理を目的としたドローンによる計測活用調査業務」報告書より【岡山県西栗倉村】

7.2 代表的な機材

機器名	Matrice 600 pro	
会社名	DJI	
重量	10.0kg	
最大飛行時間	約 38 分	
自動飛行	可	
緊急時自動帰還	有	
価格	593,800 円	

参照 : <https://www.dji.com/matrice600-pro?site=brandsite&from=nav>

機器名	VUX-1	
会社名	RIEGL	
パルスレート※	550kHz	
視野角	330°	
重量	3600g	
価格	25,000,000 円	

参照 : <http://www.riegl-japan.co.jp/product/uas-uav/riegl-vux-1.html>

機器名	VLP-160	
会社名	Velodyne	
パルスレート	20kHz	
視野角	360°	
重量	約 830g	
価格	1,200,000 円	

参照 : <http://velodynelidar.com/vlp-16.html>

8. 地上レーザ

メリット

- 樹幹の曲がりや被圧木を含め、単木情報を高精度に把握することができる
- 樹幹の三次元データが取得できるため、材の形質を踏まえた出材や販売計画のシミュレーションを行うことができる
- 単木ごとの位置情報も把握できるため、選木のシミュレーションを行うことができる
- 高精度の地形情報を取得できるため、路網の詳細設計ができる

デメリット

- 計測データを取得するために現地調査と同様に林内移動が必要になるので、広範囲の計測には適さない
- 林内で計測を行うため、現地の状況により計測条件が変動する

8.1 技術的特徴

地上レーザは一般的に三脚等の上にレーザスキャナを据え付け、計測地点から水平方向に 360° 、垂直方向にも 360° に近い方向へレーザを照射し、放射状に点群を取得する技術である。複数地点で計測し、各地点で取得した点群を位置合わせし、統合して三次元データとする。このデータの統合は専用のソフトを使う必要があり、計測地点が多い場合は統合の精度が低下することがある。このため、一回の計測における対象面積は1ha程度を目安とすることが望ましい。そして、三次元情報に正確な位置情報を付与するために、計測地点の位置をGNSS※で観測する必要があることにも注意が必要である。また、光学センサを搭載している機器が多く、点群計測前後に同じ位置からの写真を撮影することで、点群に対して色情報を付与することができる。

森林資源量の把握では、地上レーザスキャナにより樹幹を計測し、胸高直径、樹高、材積、曲がり状況を算出する。数cm感覚で地表物の三次元情報を取得できることから、計測範囲全ての単木情報を高精度に取得することができる。

また、使用するレーザ機器によってはレーザ照射到達距離が短く、樹高、樹冠のうっ閉、傾斜等の条件により樹高が正確に測れない場合がある。

地上レーザは点群情報（樹形）や同時に撮影する写真等から単木レベルで樹種を特定することができるが、広域に利用されることは少ないことから、林相区分図の作成は一般的ではない。

なお、地上レーザにはバックパック式やハンディ式の機器も開発されており、林内を歩行しつつ計測することも可能となっている。

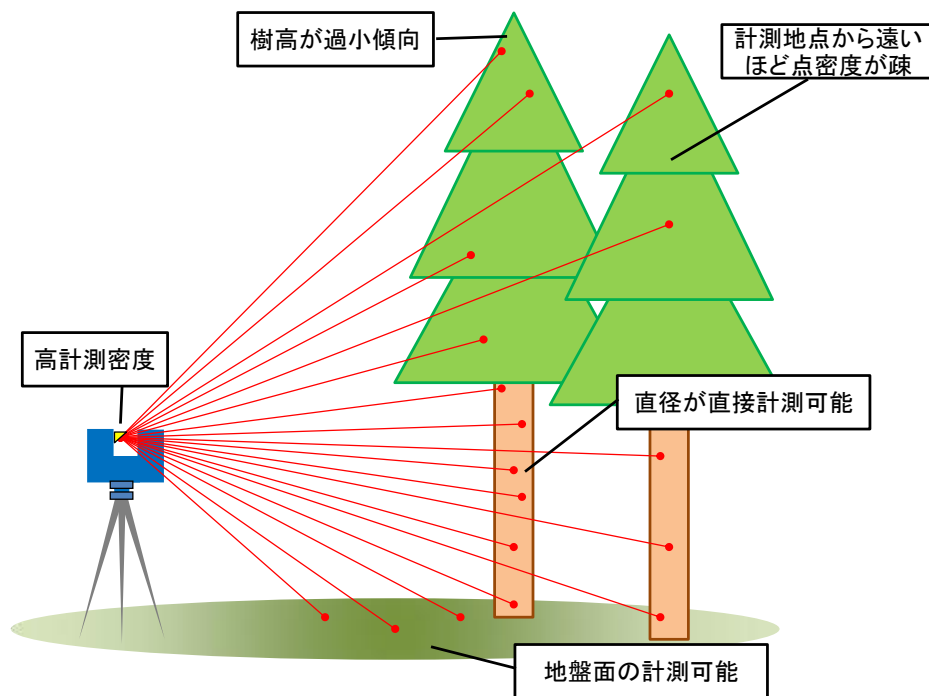


図 8-1 地上レーザの計測イメージ

計測データは、位置座標（XYZ）、レーザ反射強度、色（RGB）のデータが計測地点ごとに取得し、特徴点のマッチング等により統合することでオリジナルデータ※となる。オリジナルデータから地盤で反射した点群を抽出することで、地盤高※を作成することができる。地盤高の解像度※は計測密度次第であるが0.01m程度の細かさの地盤高を作成することができ、新たな路網の設計をより高精度に行うことができると考えられる。

地上レーザで取得できるデータを表 8-1 に、精度についてとりまとめた結果を表 8-2 に示す。

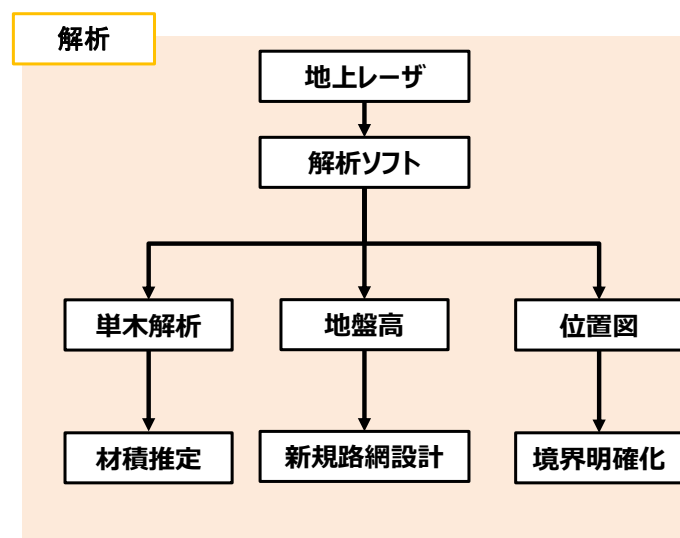


図 8-2 地上レーザの解析フロー

表 8-1 地上レーザから取得できるデータ

データ	概要
地盤高	0.01m等のメッシュ※サイズの地盤高
等高線図	地盤高から作成した等高線図
微地形表現図※	地盤高から作成する視覚的に地形を識別できる地図
樹高分布図	任意のメッシュサイズで樹冠高※の最大値を計算し、樹高を表す図
単木資源情報	樹幹の位置情報から樹木位置を抽出し、樹高、胸高直径、材積、曲がり等の情報を毎木で整備した GIS※情報
材積推定	小班等の森林管理単位で単木情報を集計し、材積分布が把握できる情報

表 8-2 地上レーザにより取得した森林情報の精度

項目	精度
樹種	スギ、ヒノキの分類精度は約 85%
地形データ	0.01m 間隔の地盤高が作成可能
被圧木	把握できる
本数	ほぼ 100%取得可能
樹高	平均誤差は約 0.5～1m (地上レーザのレーザパルス※が届かない範囲は推定できない)
胸高直径	平均誤差は約 2cm 以下
材積	平均誤差率は 1～5%
樹幹の曲がり	把握できる
位置精度	GCP※なし：10m 程度、GCP あり：10cm 程度

※出典：平成 29 年度森林資源情報整備技術実証事業

8.2 データ取得方法

地上レーザは毎木調査や標準地調査等の従来の現地調査の代替となりうる技術である。現地での計測にあたっては、従来と同様に調査プロットの配置を検討する必要がある。また、一機器のバッテリー稼働時間を考慮して計測を計画する必要がある、計測人員については2～3名で実施される傾向にある。

計測時には見通しを考慮して計測地点を選定し、欠測が発生しないように計測点の間隔に注意する必要がある。林内の状況は地形や樹種、施業状況等により異なるため、一定の経験と試行が必要となる。また、下草植生が密生している林内で計測する場合には、地盤面や立木にレーザが到着するよう計測前に刈り払いを行う必要がある。

8.3 代表的な機材

代表的な地上レーザスキャナを表 8-3 に示す。

表 8-3 地上レーザ計測機器一覧

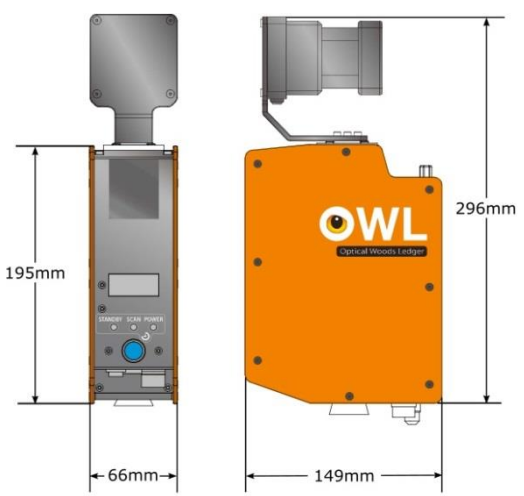
機器名	メーカー	最大計測 距離(m)	稼働時間 (hour)	重量(kg) (バッテリー無)
FOCUS ^S 350	FARO	350	4.5	-
FOCUS ^S 150	FARO	150	4.5	-
FOCUS ^M 70	FARO	70	4.5	-
FOCUS ^{3D} X330 HDR	FARO	330	4.5	5.2
FOCUS ^{3D} X130 HDR	FARO	130	4.5	5.2
BLK360	Leica	60	-	1
ScanStation C10	Leica	300	3.5	13
Pegasus:Backpack	Leica	100	3	20
VZ-400i	RIEGL	800	-	9.7
VZ-400	RIEGL	600	-	9.6
GLS-2000	TOPCON	500	2.5	10
GLS-1500	TOPCON	500	4	16
TX8	Trimble	120	2	10.7
TX6	Trimble	80	2	10.7
OWL	アドイン研究所	30	4～6	3.7

機器名	FOCUS ^s 350	
会社名	FARO	
計測距離	350m	
計測範囲	水平 360° 垂直 300°	
動作時間	4.5 時間	
動作環境	-20° ～55°	
重量	-	
—		

参照： <https://www.faro.com/ja-jp/products/construction-bim-cim/faro-laser-scanner-focus/>

機器名	Pegasus:Backpack	 左から右: ケース、プリズム、タブレット、センサーシステム、 バッテリー4個と充電器、外部変換機
会社名	Leica	
計測距離	100m	
計測範囲	水平 200° 垂直 360° ※歩行しながらレーザ計測 を実施し、面的な情報を取得	
動作時間	3 時間	
動作環境	0° ～40°	
重量	20kg	
バックパック式のレーザスキャナ センサは Velodyne の VLP16 を使用		

参照： http://www.leica-geosystems.co.jp/jp/Leica-PegasusBackpack_106730.htm

機器名	OWL	
会社名	アドイン研究所	
計測距離	30m	
計測範囲	水平 360° 垂直 270°	
動作時間	4～6 時間	
動作環境	-	
重量	3.7kg	
森林計測を主目的として開発 重量は小さく、簡易に計測が可能である。 付属のソフトウェアもある		

参照： https://www.owl-sys.com/owl_spec_list/owl_machine

9. 導入事例

9.1 リモートセンシング技術導入事例調査

リモートセンシング技術の具体的な利活用方法等について調査するため、図 9-1、表 9-1 に示す 40 団体に対して調査を行い、合計 76 事例について回答を得た。調査先はリモートセンシング技術の導入実績のある都道府県、市町村、森林組合から地域的な偏りがないように選定し、加えて各森林管理局、国立研究開発法人森林研究・整備機構と UAV※写真の導入実績がある民間企業を対象としてヒアリングを実施した。

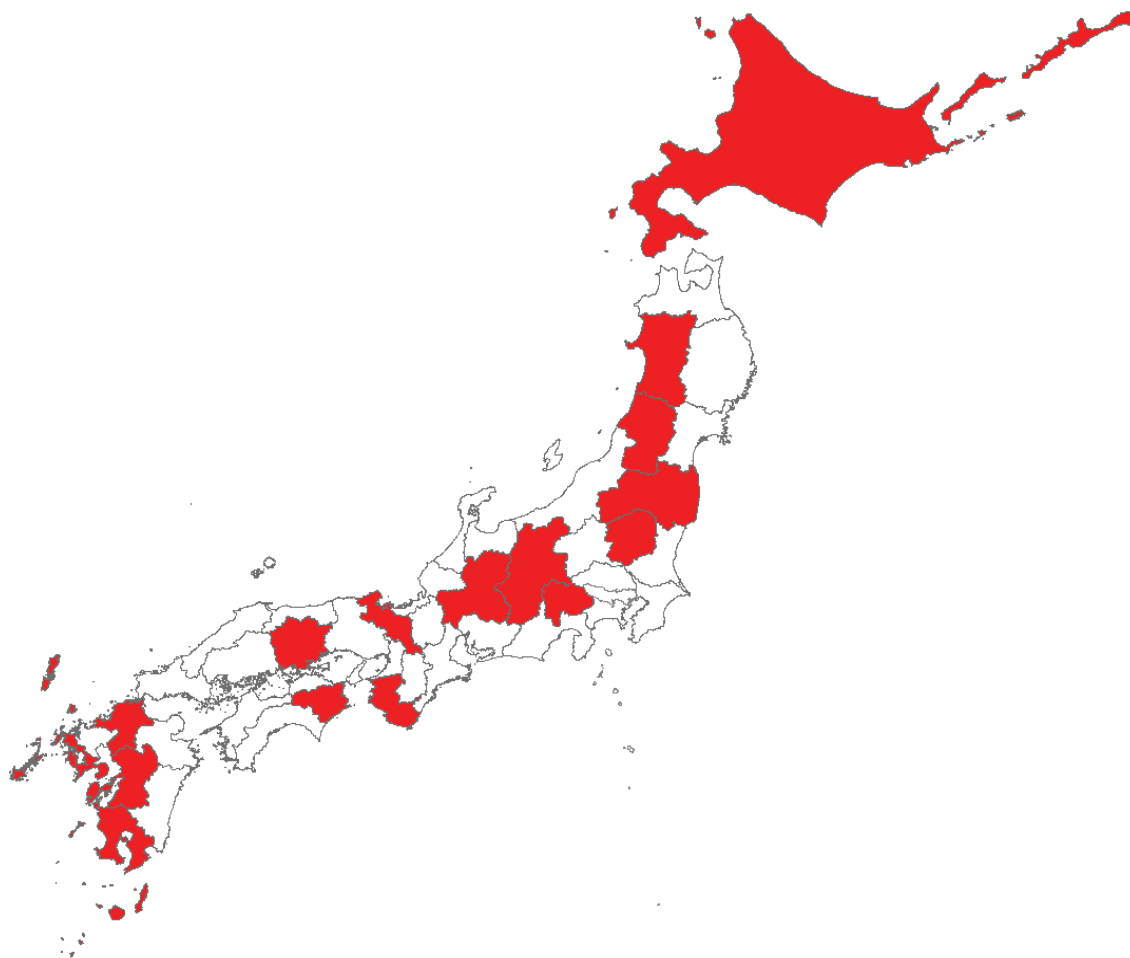


図 9-1 ヒアリング先の概況

表 9-1 ヒアリング先と導入技術・目的

ヒアリング先\導入した リモートセンシング技術	光学衛星画像	空中写真	航空レーザ	UAV写真	UAVレーザ	地上レーザ
北海道	森					
下川町(北海道)			森路	森: 森林資源量の調査 路: 既設路網の把握、新たな路網開設計画 境: 森林境界の明確化 他: その他		
下川町森林組合			森路			
雄勝広域森林組合(秋田県)	森境他	森境他				
山形県	森					
金山町(山形県)			森			
金山町森林組合			森路境他			
福島県	森					
古殿町(福島県)			森路			
栃木県			森			
山梨県			路			
北信州森林組合			森路			
岐阜県		森他	他			
郡上市(岐阜県)			森			
郡上市森林組合		森境	森境			
京丹波町(京都府)		森路	森路			
和歌山県		森境	森境			
高野町(和歌山県)			路			
清水森林組合			森			
岡山県		森				
西粟倉村(岡山県)			森路他		森他	
真庭市(岡山県)		森				
院庄林業株式会社	森境他	森境他		森境他		
徳島県	森路境		森路境			
福岡市(福岡県)			森路他			
長崎県			森路			
熊本県			森境			
熊本県森林組合連合会			森境			
くま中央森林組合			森路			
霧島市(鹿児島県)			森			
北海道森林管理局	森	森	森	森		
東北森林管理局	森路	森路	森路			
関東森林管理局			森	森		
中部森林管理局			森他	森路他		
近畿・中国森林管理局	森路他		森他	他		
四国森林管理局	森路境	森路境		森路境		森
九州森林管理局		森				森
森林総合研究所	森	森	森	森路		森

(1) 導入リモートセンシング技術・目的

ヒアリング先のリモートセンシング技術の導入数を表 9-2 に示す。航空レーザ※の事例が 35 件と半数近くを占めた一方で、計測機器が高価な地上レーザや UAV レーザの導入事例は少なかった。

表 9-2 リモートセンシング技術の事例数

リモートセンシング技術	事例数	割合
光学衛星画像	15	19.7%
空中写真	14	18.4%
航空レーザ	35	46.1%
UAV写真	8	10.5%
地上レーザ	3	3.9%
UAVレーザ	1	1.3%
合計	76	

※同一のヒアリング先で複数の事例があるため、表 9-1 の合計とは一致しない

各リモートセンシング技術の導入主体別の内訳を図 9-2 に示す。光学衛星画像※では市町村や森林組合と比較して国有林や都道府県での導入数が多かった。空中写真では国有林、都道府県、市町村、森林組合で同程度の導入であった。航空レーザは市町村、森林組合での導入が多くなり、反対に国有林や都道府県での導入は少なかった。国有林での航空レーザの導入事例では試験的評価等が主目的であった。

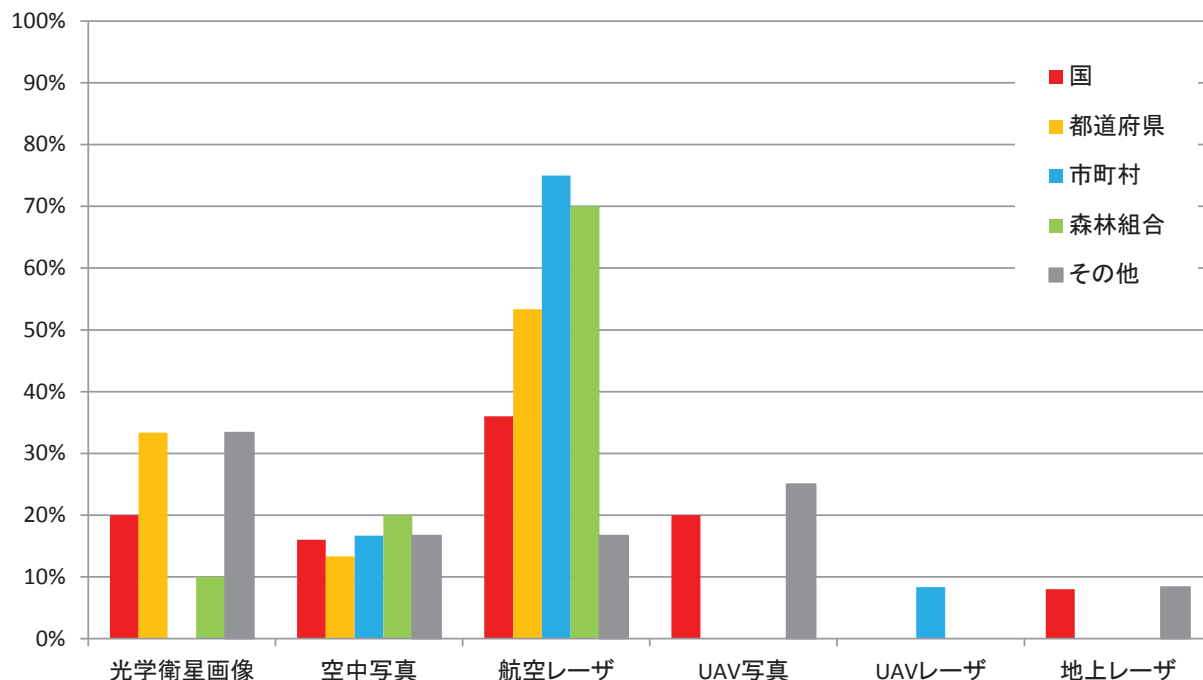


図 9-2 リモートセンシング技術の導入主体別の内訳

各リモートセンシング技術の導入目的別の内訳を図 9-3 に示す。各リモートセンシング技術において森林調査を導入目的とする事例が 50%を上回っていた。導入目的ごとに比較すると森

林調査を目的とした技術は航空レーザが最も多かったが、光学衛星画像や空中写真も多く見られた。既設路網の把握や新設路網の計画を目的とした事例では航空レーザの導入が最も多く、地形情報を取得できる航空レーザが優先的に採用されていると考えられる。森林境界の明確化を目的とした事例では、光学衛星画像、空中写真、航空レーザがそれぞれ同程度の数であり、予算・利用目的に応じて異なる技術を導入しているものと考えられる。

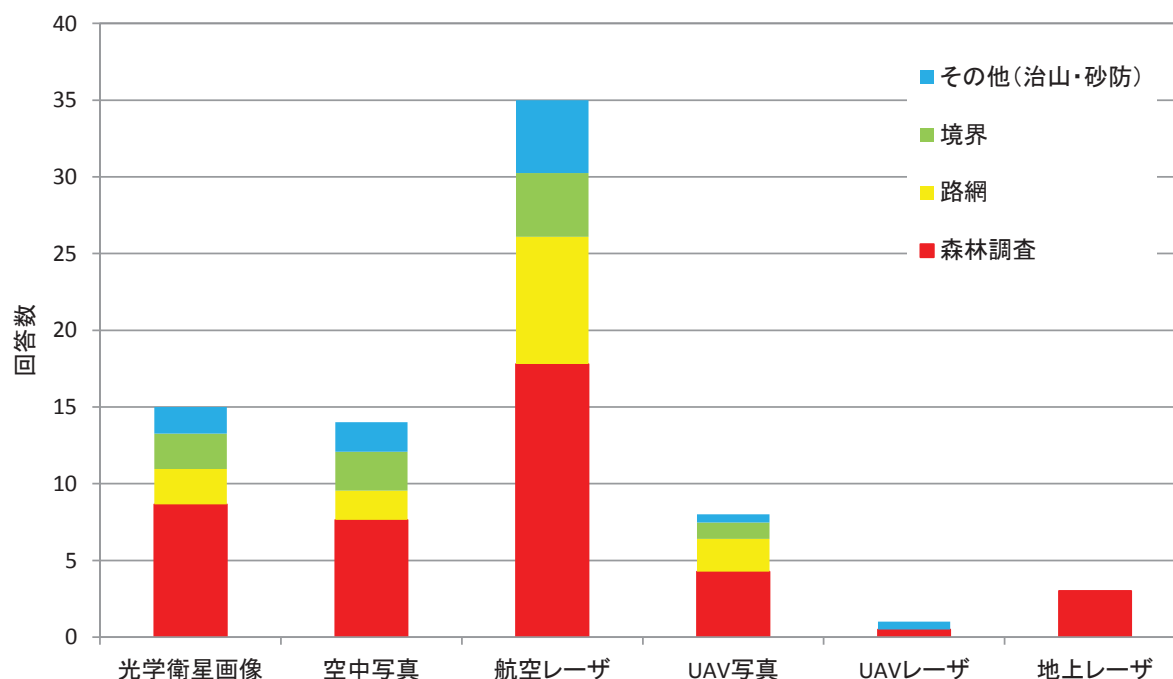


図 9-3 各リモートセンシング技術の導入目的別の内訳

※目的は事例に対して複数存在する場合もあるため、割合により内訳を示す。

リモートセンシング技術の導入目的を表 9-3 に示す。森林資源量の調査が 68 件と半数を上回っており、既設路網の把握・新たな路網開設計画は 26 件で 20%ほどであり、森林境界の明確化は 17 件であった。

表 9-3 目的の回答数

導入目的	回答数	割合
森林調査	68	53.1%
路網	26	20.3%
境界	17	13.3%
その他(治山・砂防)	17	13.3%
合計	128	

※同一のヒアリング先で複数の事例があるため、表 9-1 の合計とは一致しない

導入目的別の各リモートセンシング技術の内訳を図 9-4 に示す。森林調査では航空レーザが 40%ほどを占め、光学衛星画像と空中写真が 20%程度であった。UAV 写真は 10%であり、地上

レーザと UAV レーザの導入事例はいずれも森林調査を目的としていた。既設路網の把握・新設路網の計画では航空レーザが 56%を占め、光学衛星画像と空中写真、UAV 写真はそれぞれ十数%であった。なお、空中写真による路網を導入目的とした事例では既設路網の把握を目的としていた。森林の森林境界の明確化を目的とした場合には航空レーザは 35%、光学衛星画像、空中写真はともに 24%、UAV 写真は 17%であった。それぞれの目的に応じてレーザ計測と写真の比率が異なり、地盤のデータが必要な場合はレーザ計測が多く、森林の林相が必要な場合には写真計測が比較的多くなる傾向があった。

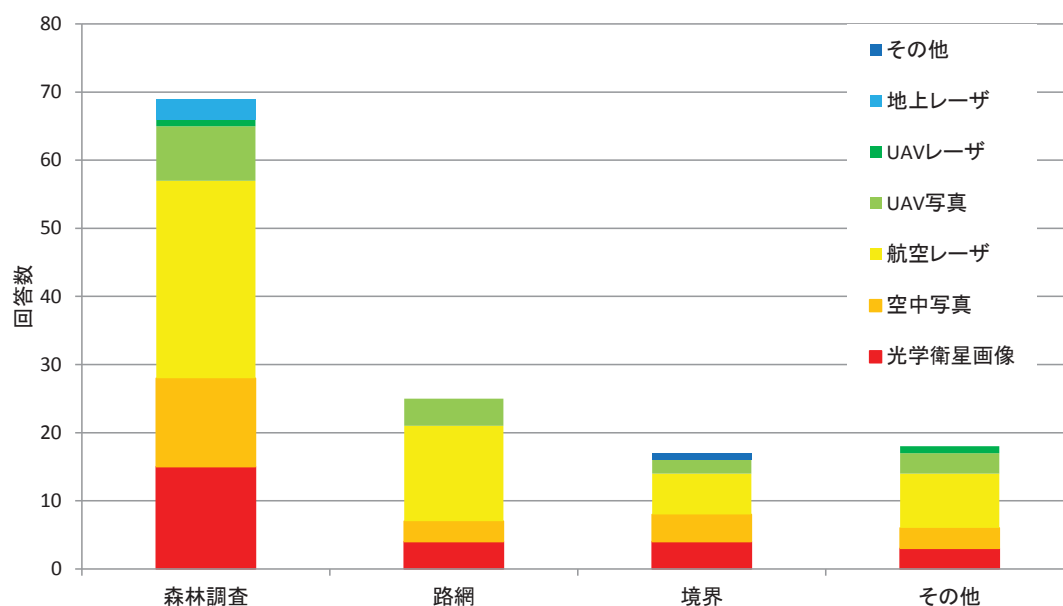


図 9-4 導入目的別の各リモートセンシング技術の内訳

(2) 導入コスト・計測面積

調査から得られた各技術の導入コストを図 9-5 に示す。対象面積に応じてコストが高くなる光学衛星画像、空中写真、航空レーザについて 1ha 当たりの平均金額を算出した。また、航空レーザについては計測に係る費用と解析・ソフトウェア導入を含んだ費用に細分類した。なお、計測には航空レーザのほか、等高線図・微地形表現図※の作成等の地盤情報の取得までが、解析には樹高情報や単木情報等森林情報の整備（GIS※情報）までが含まれる。

光学衛星画像では最も単価が低いが購入する対象面積が広いため、最低価格は 10,000 円ほどである。空中写真、航空レーザは面積ではなく、コース数によって計測コストが変動するが、面積に比例してコース数も増加するため、目安の単価を示すことができると考える。空中写真は 1ha 当たり約 300 円であり、航空レーザは計測のみの場合 1ha 当たり約 2,500 円（等高線図や微地形表現図の作成まで含まれる）、解析やソフトを含むと 1ha 当たり約 6,300 円であった。また、航空レーザの計測と解析を併せた事例で、最も低いコストは 2,315 円であった。調査事例では数千 ha を対象面積とした事例が多かったが、対象面積が数十万 ha 程度の都道府県単位となる場合、計測や解析の単価は減少する。また、レーザ計測機器の発展により計測コストが下がることから、今後は計測から解析までのコストが 2～3 千円/ha になっていくと考えられる。

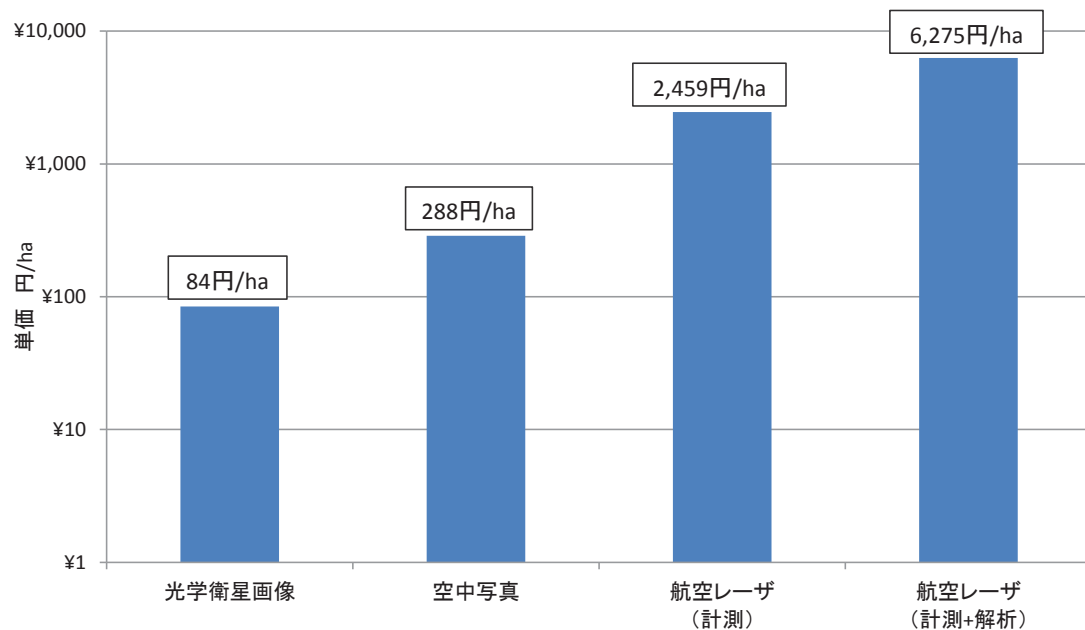


図 9-5 導入コスト

UAV 写真と地上レーザについてはリモートセンシング機器を購入し、計測や撮影を行うことが可能である。UAV 写真では DJI 社の Phantom が最も多く使用されており、カメラが付属する機体が平成 30 年 3 月現在では 20 万円程度で購入可能である。地上レーザでは計測機器と解析ソフトをセットで販売しており、400～800 万円で購入可能である。

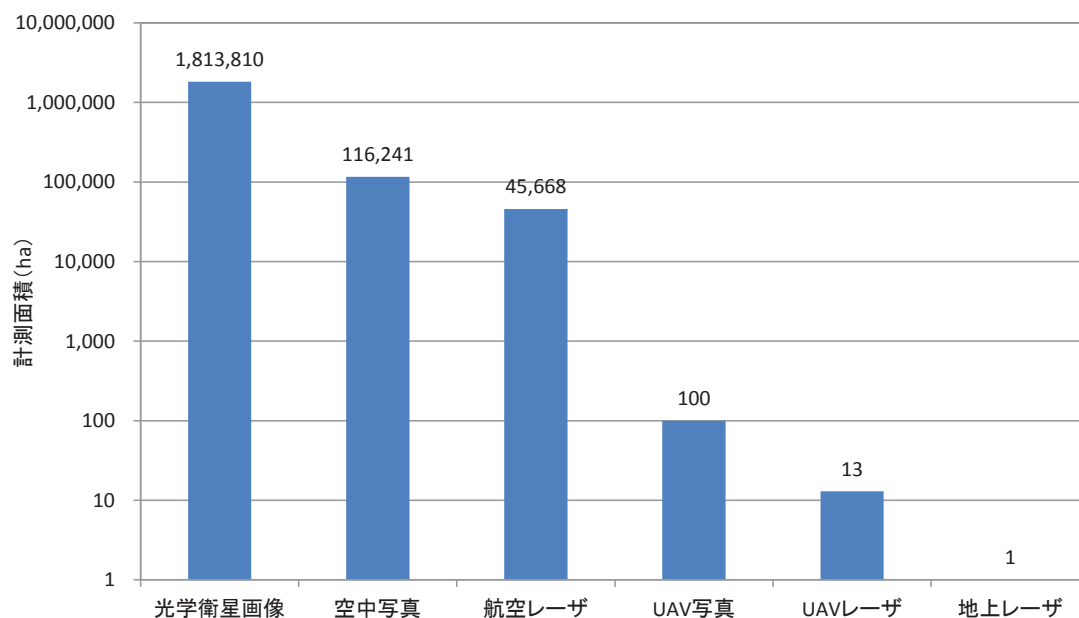


図 9-6 各技術による計測面積

各リモートセンシング技術を使用した際の計測面積の平均値を図 9-6 に示す。光学衛星画像が 180 万 ha と最も面積が大きく、次いで空中写真は 12 万 ha、航空レーザは 4.6 万 ha であった。UAV 写真は 100ha、UAV レーザは 13ha、地上レーザは 1ha であった。

(3) 導入効果・利用状況

各リモートセンシング技術の導入効果について図 9-7 に示す。調査では自由回答としたが、回答内容を以下の 7 つに分類した。

- 森林資源情報の高度化
- 森林資源情報の可視化
- 施業計画作成の効率化
- 現地調査の効率化
- 既設路網の把握・路網計画の作成の効率化
- 森林境界の明確化、提案型施業での合意形成の促進

現地調査の効率化が 18 件と最も多くなった。路網計画の効率化について挙げている事例は導入目的の件数と比較すると少なかった。リモートセンシング技術により取得したデータで路網計画を作成するためには、路網を設計するソフトウェアが必要であり、取得データを効果的に使用できていない可能性が考えられる。

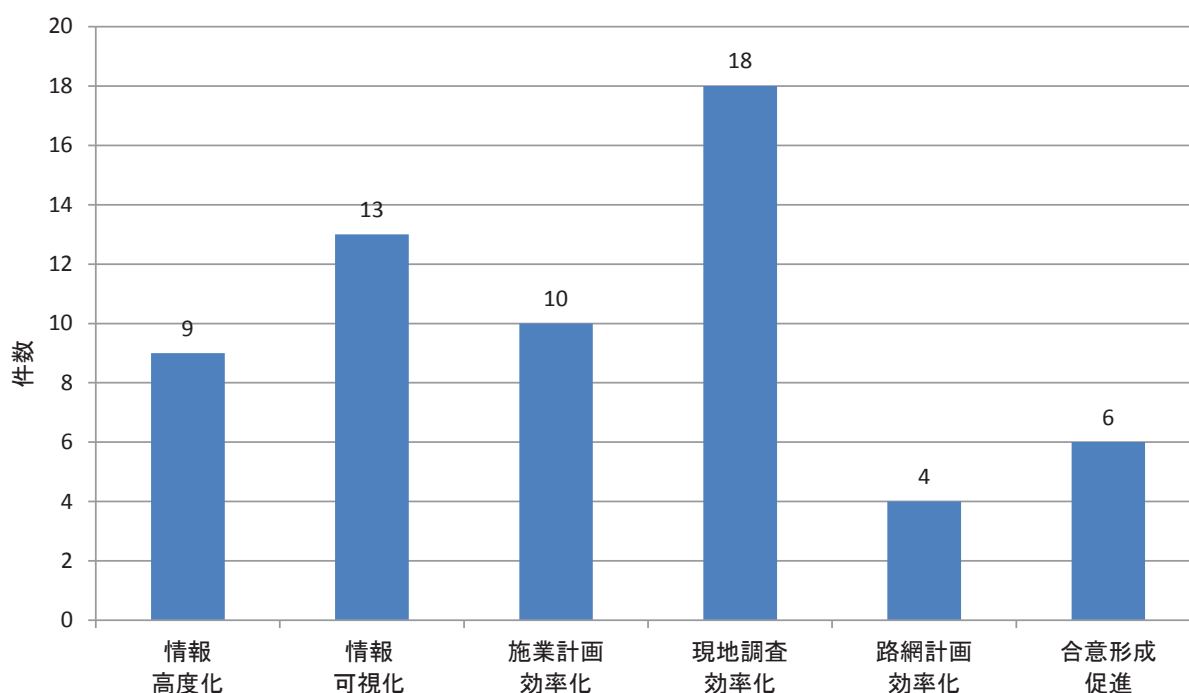


図 9-7 導入効果

光学衛星画像を用いた場合には、森林基本図と重ね合わせることで概況の効率的な確認や伐採範囲の現地確認を行う必要がなくなるといった導入効果が挙げられた。空中写真も光学衛星画像と同様に概況確認に使用されているほか、光学衛星画像よりも高解像度のオルソ画像※を取得可能であり、松枯れ被害木の特定を行い、森林簿の調整を行った事例も見られた。UAV 写真は小面積を高解像度で取得できることから、災害後の状況把握のために使用されることが多い。風倒被害後の調査では、上空から被害木を把握できるといった利点もある。また、林地崩壊等が発生した場合に、被害地全景を写真撮影し被害把握に要する時間が、UAV の使用により大幅に短縮された事例もある。

レーザ計測では定量的な解析ができるため、導入効果は多岐にわたり、航空レーザの導入効果の主な回答を以下に示す。

- 地形図や地盤高[※]の精度向上に伴って路網設計の精度が向上した。
- 収穫調査の精度が 50%から 95%に向上した。
- 治山事業で荒廃箇所の位置と規模が正確に把握できる。
- 森林整備箇所の優先順位を客観的に判断できる。
- 現地調査の回数が 5 回から 1 回程度になった。
- 微地形表現図等三次元データの活用により地域関係者との合意形成が図りやすくなった。

UAV レーザは航空レーザに比べて高密度にデータが取得できるが、解析で得られる項目はほぼ同じであるため、得られる導入効果も同様であると考えられる。地上レーザでは試験的導入の事例が多いが、標準地調査等の現地調査の時間短縮や省力化が図られ、取得情報として曲がりや中・下層植生の情報が増加すると期待されている。

リモートセンシング技術の導入後の取得したデータ等の利用状況を図 9-8 に示す。各リモートセンシング技術の利用状況からは空中写真の利用頻度が高いことがわかった。航空レーザでは試験的な導入のため、管理する森林のうち一部しかデータがないことが多く、利用頻度は空中写真と比較すると低かった。

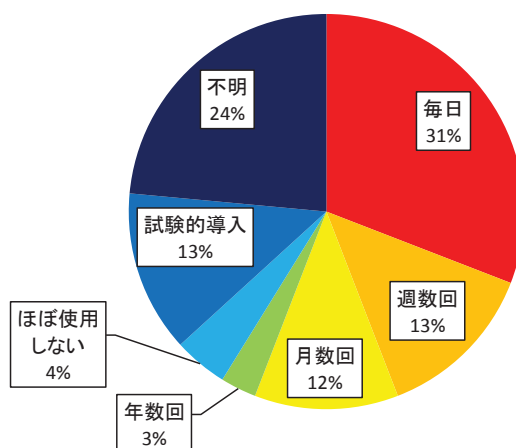


図 9-8 リモートセンシングデータの利用状況

表 9-4 各リモートセンシング技術の利用状況

	光学衛星 画像	空中 写真	航空 レーザ	UAV 写真	UAV レーザ	地上 レーザ
毎日	23%	50%	34%	13%	0%	0%
週数回	15%	17%	9%	25%	0%	0%
月数回	8%	8%	13%	13%	0%	0%
年数回	8%	0%	0%	0%	0%	33%
試験的導入	0%	0%	16%	0%	100%	67%
ほぼ使用しない	0%	0%	9%	0%	0%	0%
不明	46%	25%	19%	50%	0%	0%

(4) リモートセンシング技術（データ）活用にあたっての課題

リモートセンシング技術（データ）活用にあたっての課題を図 9-9 に示す。調査では自由回答としたが、回答内容から以下の 5 点に分類した。

- 導入コスト
- データの更新方法、データの更新に要するコスト
- 計測上の諸問題
- 解析結果の精度、解析可能項目
- ソフトウェア開発

導入コストが高額であるという回答が 26 件と最も多く、導入後のデータ更新に要するコストについても課題であることが挙げられる。データの更新コストを抑えるために航空レーザ後に空中写真等により森林資源情報を更新しようと検討している回答も見られた。解析結果の精度や解析可能項目を挙げた回答が 23 件と二番目に多く、材積の算出結果や立木本数の精度については一定の精度が求められ、地上レーザ以外の技術については曲がり等の品質等がわからないことも多く挙げられた。また、ソフトウェアの開発を挙げた回答が 10 件あり、多くは実務的にリモートセンシングデータを活用するための課題であり、解析精度とも関連した課題である。航空機運行の時期的なタイミングや UAV の飛行技術等、計測の運用上の諸問題は 6 件であった。

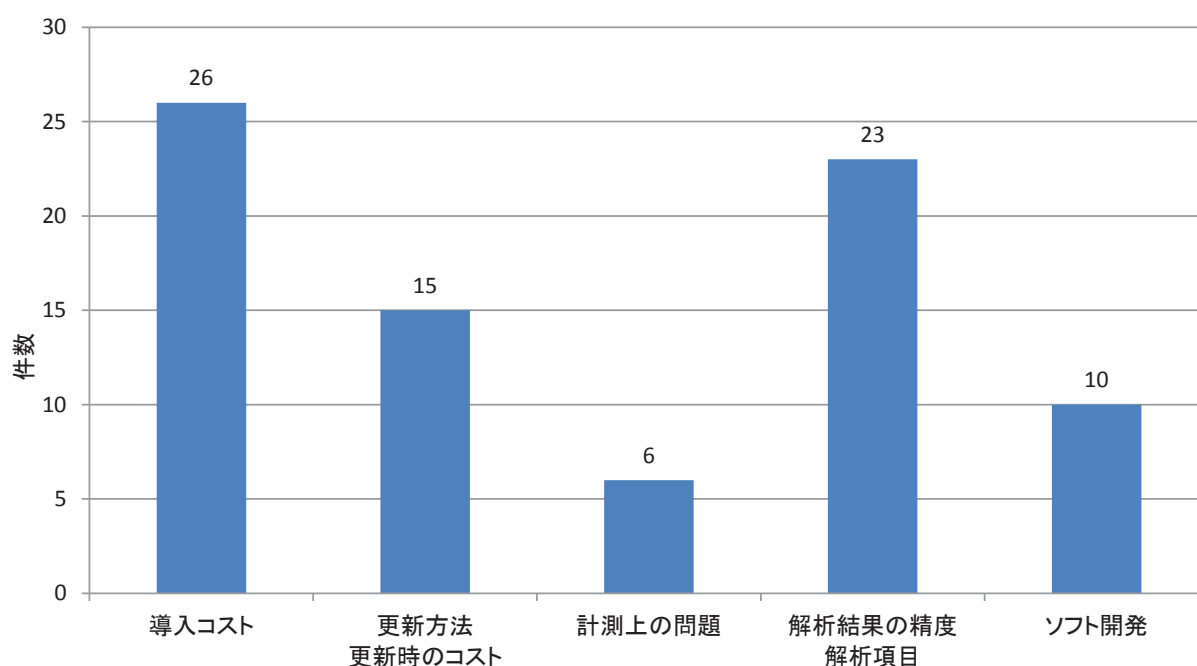
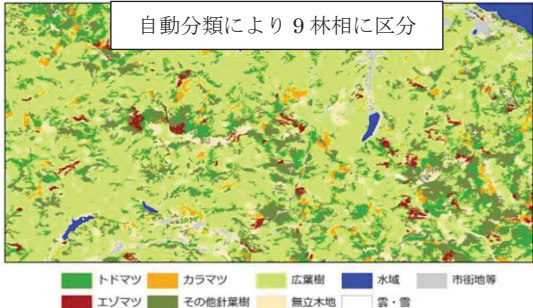
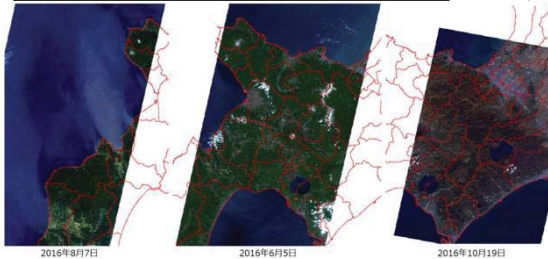


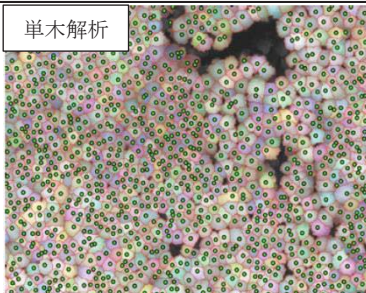
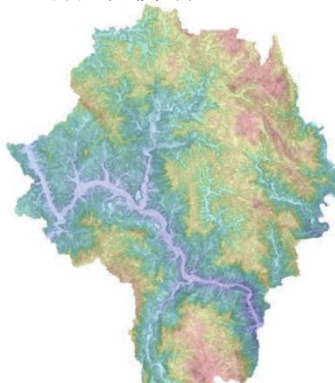
図 9-9 リモートセンシング技術の課題

9.2 導入事例集

導入事例-1

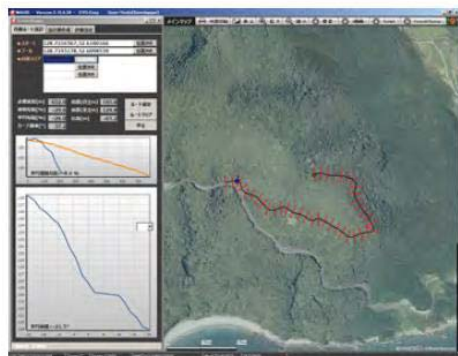
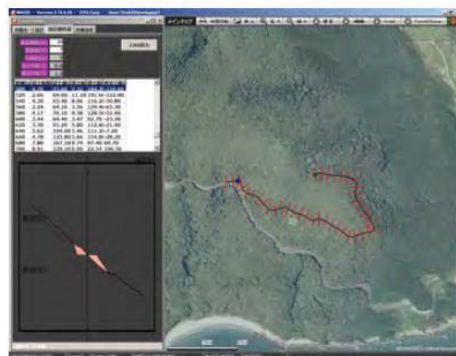
ヒアリング先	北海道水産林務部林務局森林計画課		
導入目的	森林資源量の調査		
リモートセンシング技術	光学衛星画像		
導入年	H29	計測年	H28
計測面積	4305.88 km ²	計測密度	—
導入コスト	4,860,000 円	画像分解能	5.0m（RapidEye 衛星）
成果品			
森林調査 林相判読※（自動）	衛星画像 林相区分図	自動分類により 9 林相に区分  トドマツ カラマツ 広葉樹 水域 市街地等 エゾマツ その他針葉樹 無立木地 雲・雪	
境界 林相による境界明確化	民有林区域外の森林抽出結果	異なる撮影時期の衛星画像を利用  民有林区域外の森林抽出結果 (2016 年 10 月 19 日観測画像使用) 民有林区域外の森林抽出結果	
導入効果			
効率的な森林資源を図るための検討資料として試験的に実施			
現在、実用化に向けて分析データの精度を検証中			
リモートセンシング技術活用にあたっての課題			
解像度※5.0m の衛星画像では詳細な樹種判読が行えず、より解像度の高い画像が必要となる。森林現況の客観的な分類方法として、リモートセンシング技術は大変有効と考えられるが現時点ではその成果を調査簿に直接反映させるだけの信頼度（精度）が十分に確保されておらず、結果的には現地の確認作業が必要となってしまう状況である。 こうしたことから、森林資源の適切な把握や事務の効率化を図るためにも、光学衛星画像による解析精度の向上や運用に向けた事務処理要領等の整備が必要と考えられる。			

導入事例-2

ヒアリング先	福島県 石川郡古殿町		
導入目的	森林資源量の調査 既設路網把握、新たな路網作設計画		
リモート センシング 技術	空中写真 空中写真の立体視 航空レーザ		
導入年	H28	計測年	H28
計測面積	7,316 ha	計測密度	10 点/m ²
導入コスト	53,784,000 円	画像分解能	10cm
成果品			
森林調査	オルソ画像 林相区分図 森林資源情報【単木】 （樹高・胸高直径・材積等） 森林資源情報【小班】 （地位・樹種・本数・平均樹高・平均胸高直径・合計材積等） 地盤高データ 微地形表現図※ 既設路網データ 路網設計支援ソフト格納データ 等高線図 陰影段彩図※ 傾斜区分図※ 斜面方位図 GIS ソフト※格納データ		単木解析   微地形表現図
林相判読（目視）			
材積推定 （単木解析）			
路網			
既設路網の抽出			
新規路網設計	※路網設計支援ソフト及び GIS ソフトは別途導入済み		
その他			
導入効果			
現地調査回数の低減 森林整備の優先順位の客観的判断			
リモートセンシング技術活用にあたっての課題			
市町村単独での航空レーザの実施を行うには費用負担が大きい 再計測は 10 年ごとに必要 国有林と民有林を共同で実施できなければ路網等の情報が途切れる 広域での計測が望ましい			

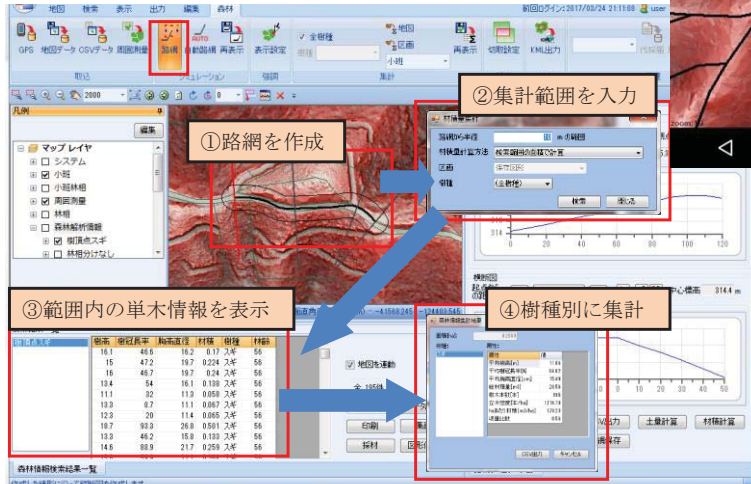
※表中の図は『ふくしま森林再生事業 航空レーザ測量資源解析業務委託 報告書』より抜粋

導入事例-3

ヒアリング先	山梨県		
導入目的	既設路網把握、新たな路網作設計画		
リモートセンシング技術	航空レーザ		
導入年	H23、H28	計測年	複数年
計測面積	アーカイブデータを活用	計測密度	1m
導入コスト	非公開	画像分解能	(地盤高のメッシュ※サイズ)
成果品			
地形情報	立体画像地図、微地形表現図、傾斜区分図 (国土交通省・山梨県県土整備部より地盤高を借用し、作成)		
その他	路網計画		
導入ソフト	路網作成支援ソフト		
	・路網の計画配置、選定 ・始点と終点を設定し、自動で路網シミュレーション ・計画した路網の横断面図、縦断面図を自動で取得		
	 林道計画支援画面①(縦断面図)  林道計画支援画面②(断面図)		
導入効果			
地形判読※による路網計画の精度向上			
現地調査の効率化			
GIS ソフトによる半自動的な路網計画による業務の効率化			
リモートセンシング技術活用にあたっての課題			
地形等の変化があるため、永久に使用できるものではなく、再調査等が必要となる。地形に関しては 10～20 年程度の周期で再計測が必要			
地盤高データのメッシュサイズは 1m であるが、路網の概略設計を行う際の精度は十分			

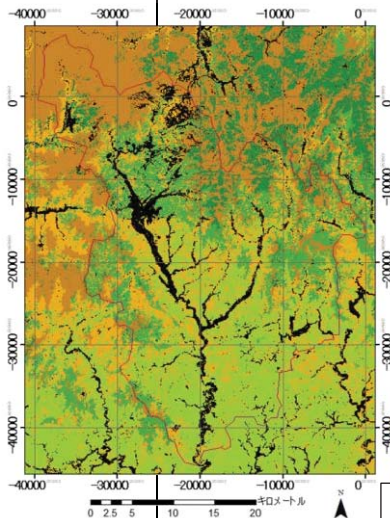
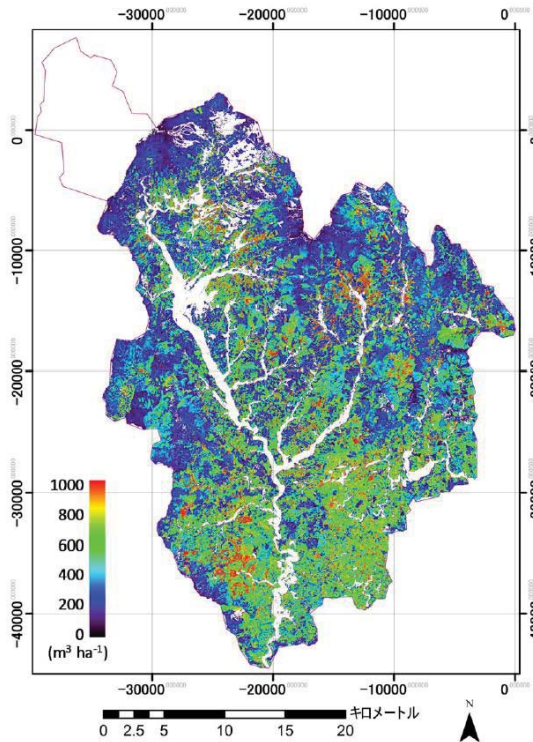
※表中の図は応用地質 HP (https://www.oyo.co.jp/oyocms_hq/wp-content/uploads/2014/11/森林整備空間情報システム 1.pdf) より抜粋

導入事例-4

ヒアリング先	金山町森林組合		
導入目的	森林資源量の調査 既設路網把握、新たな路網作設計画 森林境界の明確化 森林経営・管理、管理計画策定		
リモートセンシング技術	航空レーザ		
導入年	H28	計測年	H28、H29
計測面積	6,000ha	計測密度	4 点/m ²
導入コスト	25,000,000 円	画像分解能	0.5m
導入概要			
地形情報 林相判読（目視） 材積推定 （単木解析） 導入ソフト	オルソ画像、微地形表現図、等高線図、傾斜区分図 林相識別図※、林相区分図 樹高、胸高直径、材積 単木データ、森林情報を集計した小班データ GIS ソフト ・GIS 機能 ・路網計画機能 ・出材量シミュレーション ・施業計画出力 タブレット型端末 GIS ・現地での各種図面確認 ・GNSS※による記録  タブレット画面 （森林情報の確認） 林班 = 34 小班 = 3 植栽年 = 1954 第1林相名 = スギ 第1立木密度 = 757 第1平均樹 = 26.9 第1収量比 = 0.76 第2林相名 = 広葉樹 第2立木密度 = 0 第2平均樹 = 0 第2収量比 = 0		
導入効果			
現地調査、作業計画作成、進捗管理、作業打ち合わせ等の日常業務全般に使用。 数値化し、比較するのは困難であるが、従来業務から生産性は向上している。			
リモートセンシング技術活用にあたっての課題			
高額な初期・更新コスト、情報更新の手段、他の技術との連携利用に関わるソフトの開発が必要			

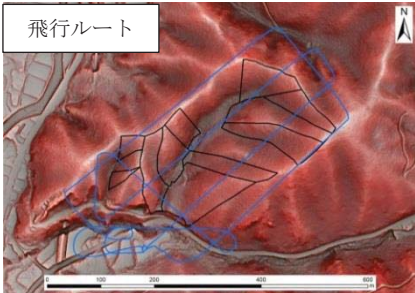
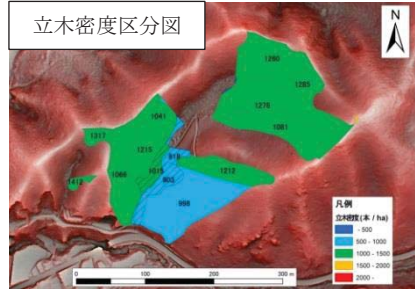
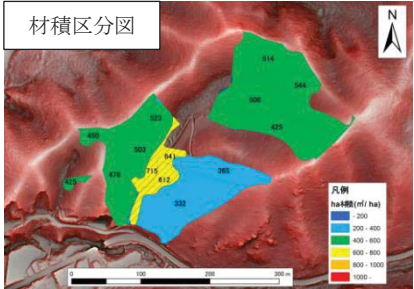
※表中の図は『金山町森林 LP 計測業務委託報告書』より抜粋

導入事例-5

ヒアリング先	岐阜県郡上市		
導入目的	森林資源量の調査		
リモートセンシング技術	光学衛星画像 航空レーザ		
導入年	H28	計測年	H25、H26
計測面積	103,000ha	計測密度	航空レーザ 8 点/m ²
導入コスト	4,337,000 円	画像分解能	衛星画像 30m
導入概要			
林相判読（自動） 材積推定 （エリアベース解析） その他	ランドサット衛星画像による森林・非森林、常緑林・落葉林の分類 材積分布図（10m メッシュ） 樹高分布図 森林組合にデータを提供し、GIS を用いて、連携して森林管理を行っている。		
			
林相分類結果区分		材積分布図	
導入効果			
従来の材積把握は、森林簿の資源情報を活用していたが、現場と相違する箇所も多い。リモートセンシング技術の活用により、森林簿よりも現場に近い結果が得られるため、木材生産推進エリア等のゾーニングの際には、より信頼できるデータとして活用ができる。			
リモートセンシング技術活用にあたっての課題			
材積分布等の解析について、企業によって解析方法が異なり規定もないため、発注側において仕様書を作成することが困難。広範囲で材積を把握しようと思うと精度にばらつきが生じる。導入コストが高い。			

※表中の図は『「リモートセンシングによる森林情報の広域推定」2016 年度 報告書』より抜粋

導入事例-6

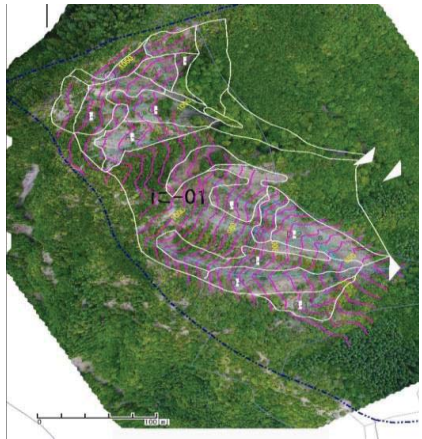
ヒアリング先	西栗倉村		
導入目的	航空レーザで得た情報を更新するための手段としての検討		
リモートセンシング技術	UAV レーザ		
導入年	H28	計測年	H28
計測面積	約 13 ha	計測密度	100 点/m ² 以上
導入コスト	3,218,400 円	画像分解能	2.5cm
成果品			
森林調査 林相判読（目視） 材積推定 （単木解析）	オルソ画像 林相識別図 森林資源情報【単木】 樹高・胸高直径・材積等 森林資源情報【小班】 樹種・本数・平均樹高・平均胸高直径・合計材積等  UAV レーザ機器		
	飛行ルート  立木密度区分図  オルソ画像  材積区分図 		
	※背景のオルソ画像・微地形表現図は航空レーザ計測により取得したデータである		
導入効果			
航空レーザと比較して、写真の精度が高く、樹冠まで把握できる。 伐採地等、小面積で特定の場所のみを撮影することが容易にできる。			
リモートセンシング技術活用にあたっての課題			
現状では、情報更新の手段として用いるにはコストが高すぎる。 また、1 回あたりの計測費用も現状では高い。			

※表中の図は『森林の維持管理を目的としたドローンによる計測活用調査業務報告書』より抜粋

導入事例-7

ヒアリング先	院庄林業株式会社		
導入目的	森林資源量の調査 森林境界の明確化 森林所有者への説明資料		
リモートセンシング技術	UAV 写真 光学衛星画像 空中写真		
導入年	H28	計測年	通常業務で計測
計測面積	200ha	計測密度	計測時によって異なる
導入コスト	1,500,000 円	画像分解能	
成果品			
林相判読 （目視） 森林境界 の明確化	UAV 空中写真によりオルソ画像を取得 樹種や林況を把握 同様に森林境界を把握 オルソ画像等と GIS の併用 森林所有者への説明資料 境界確認の根拠資料として使用  Google Earth や GIS 等 により複数のリモートセン シングデータを活用		
導入効果			
森林所有者への説明資料として、林況を示すような資料、境界確認の証拠資料として有効であり、合意形成が図りやすくなった。 空中写真やオルソ画像を使用することで状況把握のための現地調査を省力化・効率化できた。			
リモートセンシング技術活用にあたっての課題			
航空レーザ測量データの価格が一事業体にとっては高価で、費用対効果がある価格ではない。			

導入事例-8

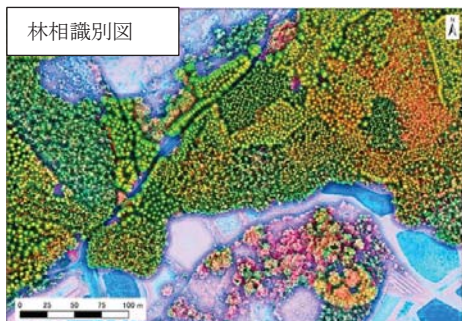
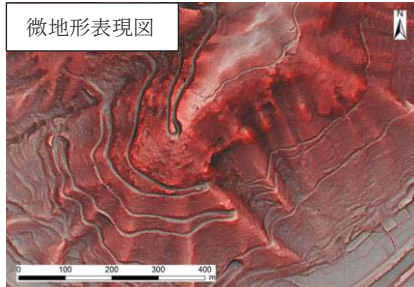
ヒアリング先	四国森林管理局		
導入目的	各種森林調査（治山、林道、森林計画、造林、収穫、獣害対策等）、災害箇所調査、技術開発等		
リモートセンシング技術	UAV 写真		
導入年	H25～H29 年度		
計測面積	-	計測密度 画像分解能	静止画（4K）
導入コスト	9,570,000 円 (UAV29 台、SfM※ソフト等含む)		
成果品			
地形情報	災害箇所の 3D 化により荒廃状況を把握、対策工の配置等の検討 		
森林情報	伐採箇所や災害箇所のオルソ画像により業務資料を作成 ■伐採箇所のオルソ画像を GIS に取り込む  ■災害復旧計画の検討 		
導入効果			
事業対象箇所の最新の現況を客観的に把握できる。			
リモートセンシング技術活用にあたっての課題			
導入コストが掛かる（UAV、PC、SfM※解析ソフト）。 UAV 操作や PC での画像処理については職員を育成していく必要。			

導入事例-9

ヒアリング先	福岡市森林・林政課		
導入目的	森林資源量の調査 既設路網把握、新たな路網作設計画		
リモートセンシング技術	航空レーザ		
導入年	H28	計測年	H28
計測面積	約 1,600ha	計測密度	4 点/m ²
導入コスト	8,640,000 円	画像分解能	0.5m
成果品			
森林調査	材積区分図 林相判読（目視） オルソ画像 林相識別図 林相区分図 材積推定（単木解析） 森林資源情報【単木】 （樹高・胸高直径・材積等） 森林資源情報【小班】 （樹種・本数・平均樹高・平均胸高直径・合計材積等）		
路網	路網設計支援システム 新規路網設計 導入ソフト GIS ソフト、路網設計支援ソフト 地盤高データ 微地形表現図 路網開設施業に必要な費用を概算		
その他	森林基本図 傾斜区分図		
導入効果			
利用間伐に係る森林作業道の計画にあたり、従来は空中写真や等高線から作業道の線形を検討した後、現地踏査を実施する必要があったが、航空レーザにより得られた詳細な地形情報の活用により、机上で高精度の計画が可能となったため、業務の省力化につながった。			
リモートセンシング技術活用にあたっての課題			
劣性木等が樹頂点の判読をされていないためか、計測本数が実本数より少ない傾向があるように思う。間伐や枝打の設計は立木本数を基準とするため、実本数との差異がより少なくなれば良いかと思う。			

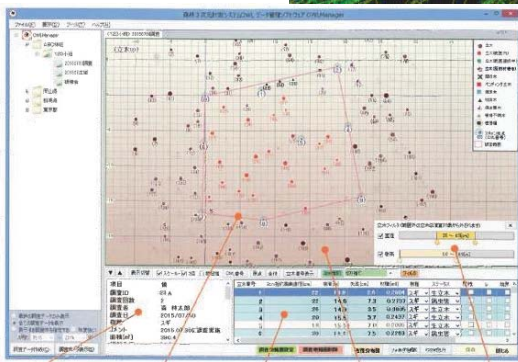
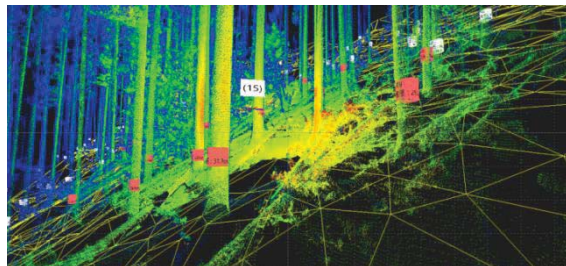
※表中の図は『林業資源ビジネス化プロジェクト調査業務委託報告書』より抜粋

導入事例-10

ヒアリング先	熊本県森林組合連合会		
導入目的	森林境界の明確化		
リモートセンシング技術	航空レーザ 全天球カメラ		
導入年	H28	計測年	H28
計測面積	約 1,000ha	計測密度 画像分解能	4 点/m ²
導入コスト	熊本県が負担 120,000 円 (全天球カメラ)		0.5m
成果品			
森林調査 林相判読（目視） 材積推定 （単木解析）	オルソ画像 林相識別図 林相区分図 森林資源情報【単木】 （樹高・胸高直径・材積等） 森林資源情報【小班】 （樹種・本数・平均樹高・平均胸高直径・合計材積等）		
路網 既設路網の抽出	地盤高データ高 微地形表現図 既設路網データ 等高線図 傾斜区分図		
その他	全天球写真※		
導入効果			
所有者への提案や境界の確認に利用している 林分の所有者の境界がわかりやすい 全天球写真は通常の写真よりも現地の状況がわかりやすい			
リモートセンシング技術活用にあたっての課題			
今後、より精細な微地形表現図を作成することが可能となり、今回表現することが出来なかった微地形や岩等の地上物を認識することができれば、境界明確化資料としての用途がさらに広がるのではないかと。 境界の変化点や林分の様子を全天球カメラで撮影し、GIS 上で写真を管理したい。			

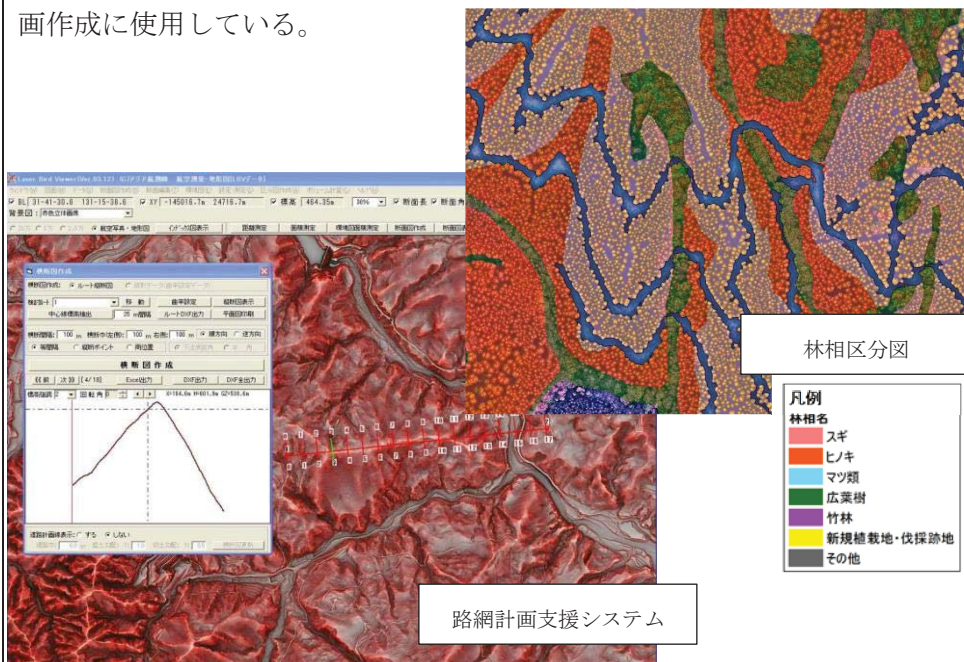
※表中の図は熊本県が実施した『平成 27 年度航空レーザ計測による森林資源等解析業務 報告書』より抜粋

導入事例-11

ヒアリング先	九州森林管理局 技術普及課		
導入目的	森林資源量の調査		
リモートセンシング技術	地上レーザ (地上レーザ測量機器 OWL を使用)		
導入年	H27		
計測面積	0.04ha	計測密度 画像分解能	数百点/m ² 以上
導入コスト	4,390,000 円 (地上レーザ機器購入費のみ)		数 cm
成果品			
森林調査 材積推定 (単木解析) 導入ソフト	森林資源情報【単木】 (樹高、胸高直径、単材積) 立木位置図 OWLManager  調査項目 調査範囲の指定 立木リスト 位置図 立木フィルター		
導入効果			
・ 調査時間・人員・労力の削減 ・ 立木位置等取得できる林分の情報量の増加			
リモートセンシング技術活用にあたっての課題			
・ 林分状況（下層植生・樹種等）によって精度に影響が出る、利用可能な条件が限定的 ・ 品質区分や被害木の判別が自動でできないため反射材を巻く等の手間が必要			

※表中の図は森林三次元計測システム「OWL」パンフレットより抜粋

導入事例-12

ヒアリング先	くま中央森林組合		
導入目的	森林資源量の調査 既設路網把握、新たな路網作設計画		
リモートセンシング技術	航空レーザ		
導入年	H27	計測年	H27
計測面積	3,490ha	計測密度	4 点/m ²
導入コスト	13,960,000 円	画像分解能	0.5m
導入概要			
地形情報 林相判読(目視) 材積推定 (単木解析) 導入ソフト	等高線データ、傾斜区分図、標高区分図、微地形表現図 レーザ林相図、林相区分図、オルソ画像 人工林単木情報(樹高、胸高直径、単材積) 人工林林分情報(林分面積、収量比数等の森林指標、林分材積) 路網計画支援ソフト(横断面図、縦断面図の作成) 間伐、皆伐、作業道作設等施業の計画や他者への林分状況説明、森林経営計画作成に使用している。  林相区分図 路網計画支援システム 凡例 林相名 スギ ヒノキ マツ類 広葉樹 竹林 新規植栽地・伐採跡地 その他		
導入効果			
・従来よりも正確な森林資源情報や詳細な地形情報を基とした施業計画が可能になった。 ・森林所有者への説明の際の提供できるデータの幅が広がった。			
リモートセンシング技術活用にあたっての課題			
導入料金と費用対効果が高額 数年ごとにデータを更新する必要がある			

※表中の図は『平成 27 年胸川流域航空レーザ測量並びに森林資源解析業務 報告書』より抜粋

10. リモートセンシングデータを活用するためのソフトウェア

リモートセンシング技術により取得したデータの解析や活用のためにはソフトウェアの利用が必須である。ソフトウェアの種類は多く、ここではほんの一部についてしか取り挙げていない。ソフトウェアの選択で考慮すべき事項は以下の通りである。

- ・ 目的に合った機能を有している
- ・ 汎用性のあるデータを扱うことが可能

以下は GIS※、前処理・解析、森林資源量の調査、既設路網の把握・新たな路網作設計画、森林境界の明確化についてのソフトウェア対応表である。

表 10-1 ソフトウェア一覧表（GIS、前処理・解析）

ソフトウェア名称	ページ	無償 有償	ビューワー		前処理・解析	
			GIS	三次元情報	オルソ画像 表層高 (UAV写真)	三次元計測データ 地盤高 (地上レーザ)
ArcGIS Explorer	92	無償	○			
Google Earth	92	無償	○			
Bentley Pointools	93	無償		○		
ArcGIS	94	有償	○			
ERDAS IMAGIN	95	有償	○	○		
TNTmips	96	有償	○	○		○
QGIS	97	無償	○			
StereoViewerPro	98	有償				
もりったい	99	有償		○		
ALANDIS NEO FOREST	100	有償	○			
FRD	101	有償	○			
MAGIS	102	有償	○	○		
PhotoScan	103	有償		○	○	
Pix4Dmapper	104	有償		○	○	
Digital Forest	105	有償		○		○
OWLManager	106	有償		○		○

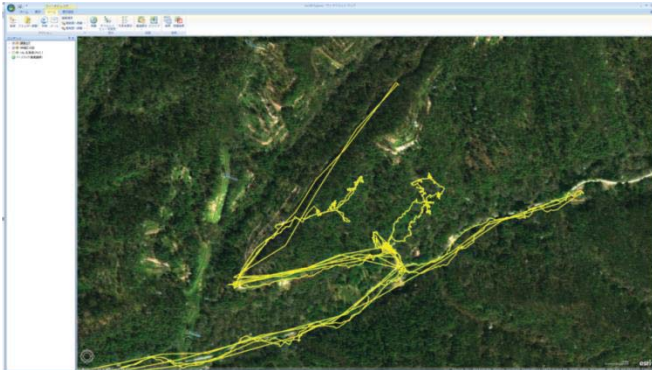
表 10-2 ソフトウェア一覧表（森林資源量の調査）

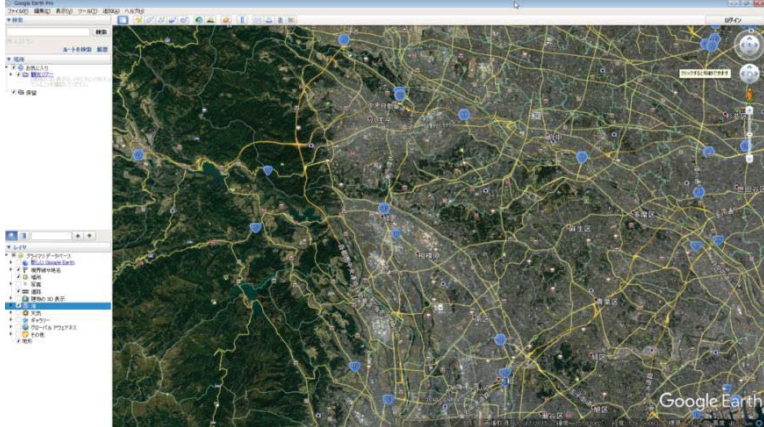
ソフトウェア名称	ページ	無償 有償	森林資源量の調査				
			林相判読 （自動）	林相判読 （目視）	樹高分布図	材積推定 （空中写真） （UAV写真）	材積推定 （地上レーザ）
ArcGIS Explorer	92	無償					
Google Earth	92	無償					
Bentley Pointools	93	無償					
ArcGIS	94	有償	○	○	○		
ERDAS IMAGIN	95	有償	○	○			
TNTmips	96	有償	○	○	○		
QGIS	97	無償	○	○	○		
StereoViewerPro	98	有償		○		○	
もりったい	99	有償	○	○		○	
ALANDIS NEO FOREST	100	有償		○			
FRD	101	有償					
MAGIS	102	有償		○			
PhotoScan	103	有償					
Pix4Dmapper	104	有償					
Digital Forest	105	有償	○				○
OWLManager	106	有償					○

表 10-3 ソフトウェア一覧表（路網、森林境界の明確化）

ソフトウェア名称	ページ	無償 有償	地形解析	既設路網の把握・ 新たな路網開設計画の作成		森林境界の明確化 （作図）
				既設路網調査 （作図）	新規路網設計 （作図）	
ArcGIS Explorer	92	無償				
Google Earth	92	無償				
Bentley Pointools	93	無償				
ArcGIS	94	有償	○	○		○
ERDAS IMAGIN	95	有償				○
TNTmips	96	有償	○	○		○
QGIS	97	無償	○	○		○
StereoViewerPro	98	有償				○
もりったい	99	有償				○
ALANDIS NEO FOREST	100	有償		○	○	○
FRD	101	有償		○	○	
MAGIS	102	有償		○	○	○
PhotoScan	103	有償				
Pix4Dmapper	104	有償				
Digital Forest	105	有償			○	
OWLManager	106	有償				

10.1 GIS ビューワー

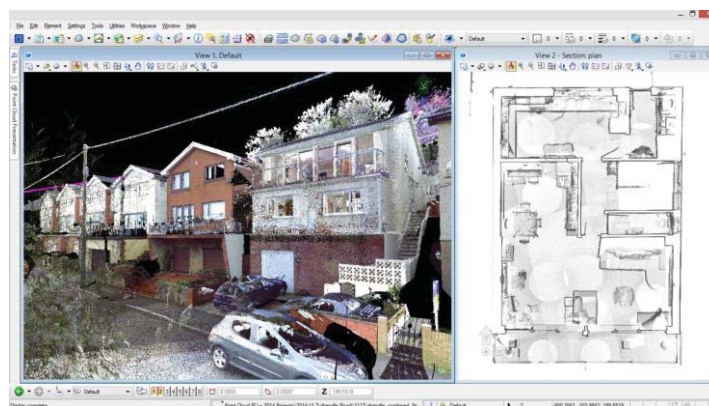
ソフト名	ArcGIS Explorer
会社名	ESRI
ソフトの目的	GIS
ダウンロードサイト	http://resources.arcgis.com/ja/communities/arcgis-explorer-desktop/01s0000000003000000.htm
概要	
ESRI 社が開発した無料ビューワー。ベースマップとして、日本全国の衛星画像がデフォルトで搭載されている。Shp データや kml データ、gpx データ等の様々なベクタ*の閲覧や任意の地点間における距離を測定することができる。	
	

ソフト名	Google earth
会社名	Google
ソフトの目的	GIS
ダウンロードサイト	https://www.google.co.jp/intl/ja/earth/
概要	
Google が開発した、世界中の地理空間情報を表示することが可能な無料のアプリケーションソフト。地球の全地域をほぼ網羅した光学衛星画像データが収録されており、過去の写真を閲覧することも可能である。ハンディ GNSS*で計測した際に取得できる kml や gpx を地図上に表示することができる。また、座標定義を行ったラスタ*を表示することも可能である。地域により背景となる光学衛星画像の解像度*や撮影時期が異なる点について留意する必要がある。	
	

ソフト名	Bentley Pointools View&Bentley Pointools PODcreator
会社名	Bentley Systems
ソフトの目的	点群ビューワ
ダウンロードサイト	https://www.bentley.com/ja/products/product-line/reality-modeling-software/bentley-pointools-view

概要

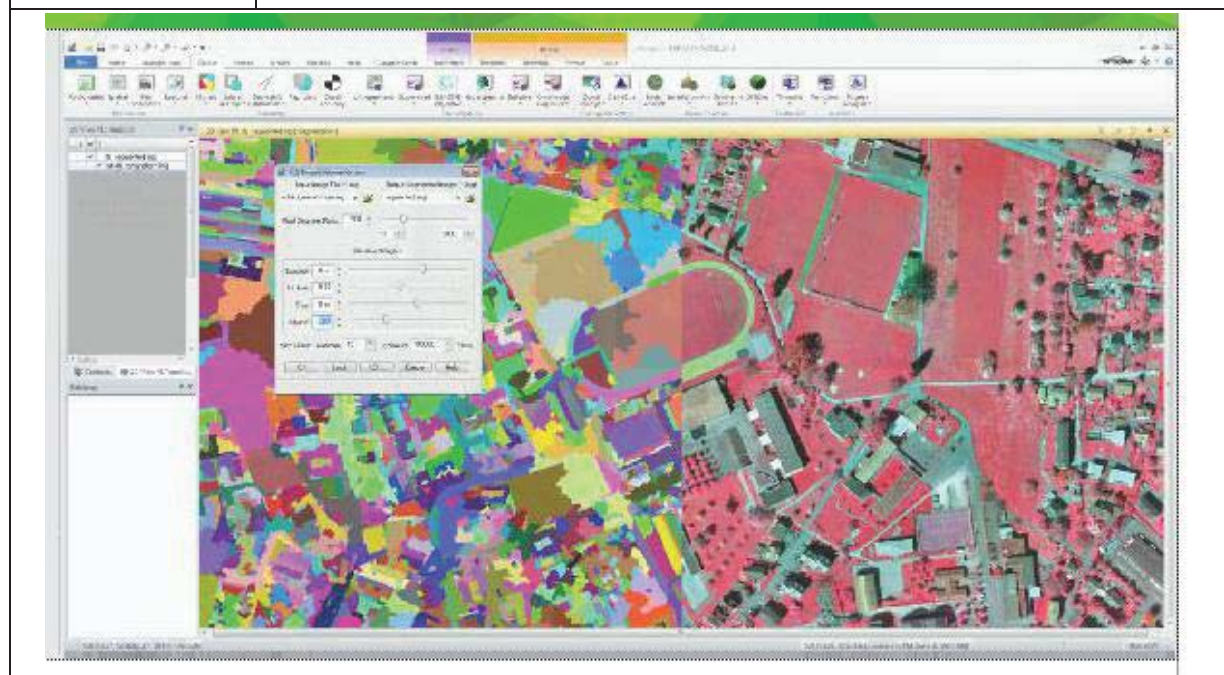
Bentley Pointools View は地上レーザや航空レーザ※で得た三次元点群を閲覧できる無料のソフトウェアである。POD ファイルという専用のフォーマットでないと読み込めないため、表示したいファイルを Bentley Pointools PODcreator により変換する必要がある。



10.2 解析ソフト

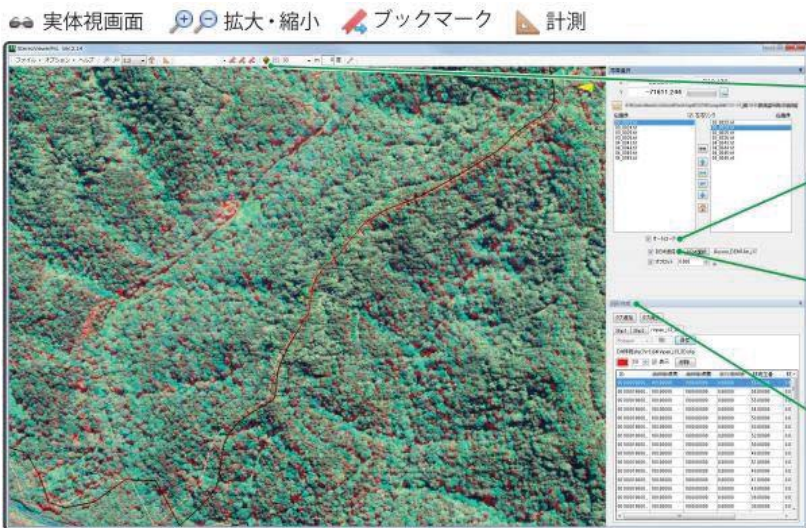
ソフト名	ArcGIS
会社名	ESRI
ソフトの目的	GIS
概要	ESRI 社が開発した有料の GIS システムであり、様々な形式のラスタ、ベクタに対応している。日本での導入事例は多く、日本語のマニュアルも充実しているため、習熟難易度は比較的易しい。ビューアーとしての利用のほか、簡単な解析を行うことができる。ArcGIS においても微地形表現図*の一つである「CS 立体図*」を作成する方法が公開されているため、地盤高*を所有していれば容易に作成することができる。
解析可能項目	● 林相の自動分類（教師なし分類/教師付き分類）[要 Spatial Analyst] ● 林相の目視判読 ● 樹高分布図の作成[要 3D Analyst] ● 微地形表現図の作成[要 Spatial Analyst,3D Analyst] ● 既設路網の抽出 ● 森林境界の明確化
動作環境 (Ver. 10.5.1/10.5)	● CPU：2.2 GHz 以上。ハイパースレッディング（HTT）、またはマルチコア推奨 ● メモリ：最小 4 GB 推奨 8 GB ● 推奨グラフィックカード：ビデオメモリ/RAM の要件は 64MB（必須）、256MB 以上（推奨） ● ディスク容量：50 MB（最少） ● ソフトウェア環境：32bit,64bit 両対応
価格	ArcGIS Desktop Basic 単独使用（SU）ライセンス（GIS システム本体）：390,000 円 ArcGIS Spatial Analyst（エクステンション製品）：650,000 円 ArcGIS 3D Analyst（エクステンション製品）：650,000 円

ソフト名	ERDAS IMAGIN
会社名	ESRI
ソフトの目的	GIS、画像解析
概要	リモートセンシング画像解析、およびラスタ型 GIS の統合ソフトウェア。画像データ解析に特化したソフトウェアである。専門性が高いため、習熟難易度は高めである。
解析可能項目	● オルソ画像作成 ● 光学衛星画像の大気補正 ● 林相の自動分類（教師なし分類/教師付き分類） ● 森林境界の明確化
動作環境	● CPU : 64-bit: Intel 64 (EM64T) , AMD 64 または互換性のある CPU (マルチコア搭載の PC を推奨) ● メモリ : 16GB 推奨 (8GB 最小) ● 推奨グラフィックカード : NVIDIA® Quadro® K5200, K4200, K2200, K420^3 NVIDIA Quadro K5000, K4000, K600^3 ● ソフトウェア環境 : ERDAS IMAGIN 2015 まで 32、64-bit 対応。2016 からは 64-bit のみ
価格	Essentials 版(大気補正、林相の自動分類) : 700,000 円(税抜) Advantage 版 (オルソ画像作成、大気補正、林相の自動分類) : 1,190,000 円 (税抜)



ソフト名	TNTmips
会社名	MicroImages
ソフトの目的	GIS、画像解析
概要	一般的な地理空間データであるラスタ、ベクタ、CAD、TIN※ オブジェクトを扱うことができる GIS システム。MySQL や Postgres/PostGIS、Oracle 等の汎用データベースの空間・属性データだけでなく、shape ファイルや LAS ファイルのような多くのフォーマットの地理データを直接扱うことが可能。 教師付き分類、教師なし分類等の自動分類等の一般的な解析のほか、オルソ画像の作成や三次元点群データの閲覧、地盤高データの作成といった前処理に関する解析についても実施可能である。しかし、専門性の高いソフトであるため、習熟難易度が非常に高い。
解析可能項目	● オルソ画像作成 ● 林相の自動分類（教師なし分類/教師付き分類） ● 林相の目視判読 ● 樹高分布図の作成 ● 微地形表現図の作成 ● 既設路網の抽出 ● 森林境界の明確化 ● 三次元点群データ閲覧 ● 地盤高データの作成
動作環境	● CPU : Intel Pentium4 以上、または 100%互換 PC を推奨 ● メモリ : 最低 1GB、4GB 以上を推奨 ● ソフトウェア環境 : 32bit,64bit 両対応
価格	TNTmips Pro シングルライセンス:866,160 円
	

ソフト名	QGIS
会社名	QGIS Development Team
ソフトの目的	GIS
概要	無償で利用できるオープンソースの GIS ソフト。ビューアーとしての利用のほか、簡単な解析を行うこともできる。また、プラグインを導入することで様々な機能を追加することができる。微地形表現図の一つである「CS 立体図※」は QGIS を利用して作成するツールが公開されており、地盤高※を所有していれば容易に作成することができる。
解析可能項目	● 林相の自動分類（教師なし分類/教師付き分類） ● 林相の目視判読 ● 微地形表現図の作成 ● 既設路網の抽出 ● 森林境界の明確化
動作環境	ソフトウェア環境：32bit,64bit 両対応
価格	無料

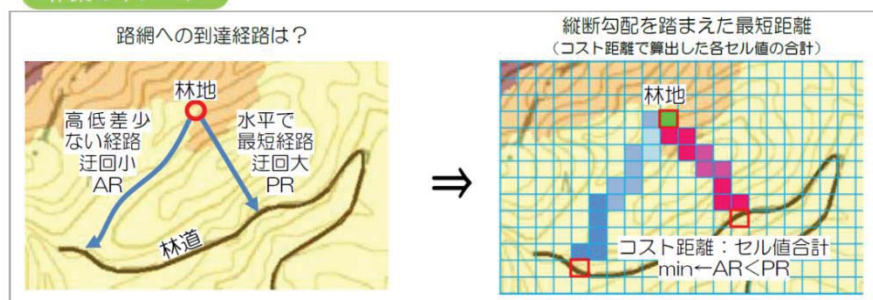
ソフト名	StereoViewerPro
会社名	株式会社 フォテック
ソフトの目的	空中写真立体視※、森林計測
概要	これまで実体鏡を使って行ってきた立体視作業を、PC 上で簡単に行うことができるソフトウェア。特別な訓練は不要で、簡単に立体視・計測が可能。また、ベクトルデータの描画等さまざまな方法で計測・記録ができ、そのデータをエクスポートすることにより、各種 GIS ソフトで利用可能。また、複数の立体視用メガネがあれば、複数人で 3D 画面を見ることができる。
解析可能項目	● 林相の目視判読 ● 材積推定（標準地解析） ● 森林境界の明確化
動作環境	● CPU : Intel Core2 Duo 以上推奨 ● メモリ : 4GB 以上推奨 ● グラフィックカード : NVIDIA Quadro シリーズ ● ディスプレイ : 120Hz 表示可能なモニター ● OS : Windows 7/8/10 (32/64bit) ● 3D Vision 用機材 : 立体視用メガネ (NVIDIA 3D VISION 等)
価格	ソフトウェア本体価格 : 190,000 円 (消費税別)
 森林ツール 樹高・本数計測が可能です。 オートロード 見たい位置の写真を自動的に表示します。 DEM 追従 地形データに合わせて自動的に画面を調整します。 図形作成 ポイント(点)、ライン(線)、ポリゴン(面) データが 3D シェープファイルで作成できます。 ※画面はアナグリフ(赤青画面)表示	

参照 : <http://www.photec.co.jp/html/stereo/stereo1.html>

ソフト名	もりったい
会社名	一般社団法人日本森林技術協会
ソフトの目的	空中写真立体視、森林計測
概要	デジタル撮影空中写真を利用した森林の立体視及び解析をおこなうために林野庁事業にて開発したソフトウェア。立体視機能に加え、オルソや高さデータを利用した樹種分類、標準地解析による材積推定等を行うことが可能である。マニュアルが整備されており、習熟難易度は非常に易しい。また、複数の立体視用メガネがあれば、複数人で 3D 画面を見ることができる。
解析可能項目	● 林相の自動分類（教師なし分類/教師付き分類） ● 材積推定（標準地解析） ● 森林境界の明確化
動作環境	● CPU : Intel Core2Duo 以上（最新の高速な CPU を推奨） ● メモリ : 最低 1GB 以上（2GB 以上推奨） ● ディスプレイ : 1024 × 768 以上（120Hz 対応製品） ● ビデオボード : NVIDIA Quadro シリーズ（Quadro 2000 推奨） ● ソフトウェア環境 : 32bit,64bit 両対応 ● 3D Vision 用機材 : 立体視用メガネ（NVIDIA 3D VISION 等）
価格	サポート契約:100,000 円/年(講習・立体視用ベクタデータの作成) もりったい用データ作成代行費用(必須ではない): 30,000 円(基本料金)+1,000～1,600 円/空中写真 1 枚(枚数により変動) ※空中写真購入費を除いた価格

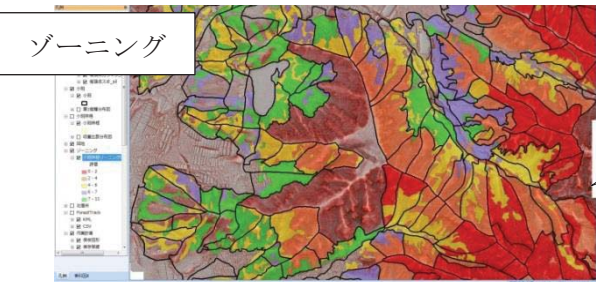


作業のイメージ



参照 : http://www.jafta.or.jp/contents/publish/6_list_detail.html

ソフト名	ALANDIS NEO FOREST
会社名	アジア航測株式会社
ソフトの目的	森林 GIS、路網検討
概要	航空レーザによって取得したデータにより森林管理をすることに特化した GIS 型のソフトウェア。
解析可能項目	● 林相の目視判読 ● 既設路網の抽出 ● 新規路網の設計 ● 森林境界の明確化
動作環境	● CPU : 2.2 GHz 以上 ● メモリ : 2GB 以上 ● 推奨ビデオメモリ : 64MB (必須)、256MB 以上 (推奨) ● ソフトウェア環境 : 32bit および 64bit 対応
価格	ソフトウェア本体価格 890,000 円 5 ライセンスまで 1,250,000 円 データ作成・セットアップ費用 1,100,000 円



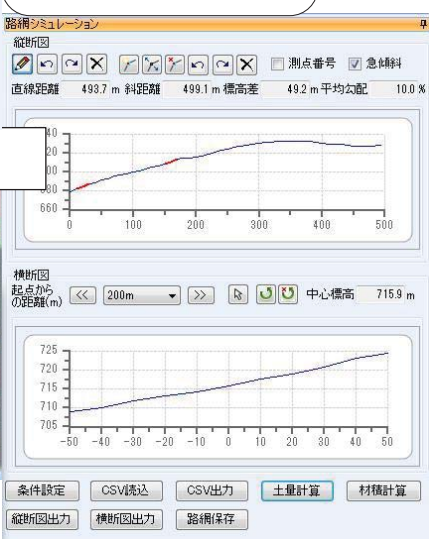
ゾーニング

小班等を点数化
⇒木材生産機能の
高い林分を評価



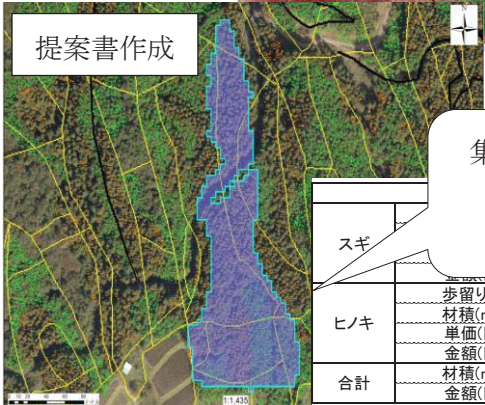
路網シミュレーション

縦横断面図作成
延長・土量から
工事概算を PC で
効率的に実施



縦横断面図

提案書作成



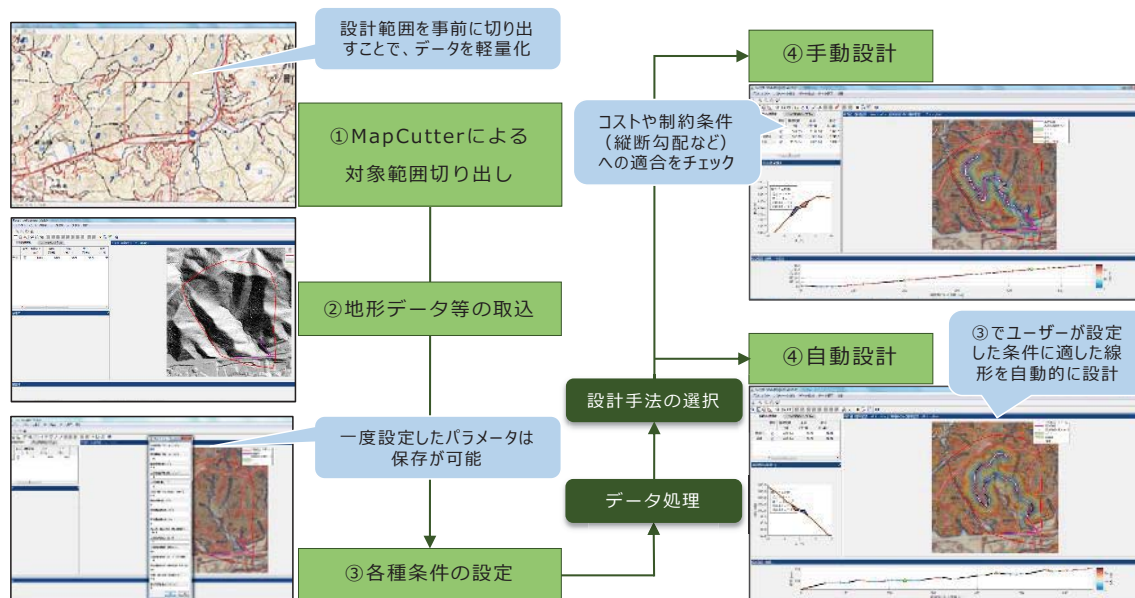
集約化促進のため
素材生産量を
レポート出力

	B材	C材	小計
スギ	50	30	—
	88.5	53.1	176.9
	7,500	4,500	—
	663,375	238,815	1,344,440
ヒノキ	60	20	—
	30.2	10.1	50.4
	8,000	4,500	—
	136,080	45,360	423,360
合計	118.7	63.2	227.3
	578,330	284,175	1,767,800

参照 : <http://www.ajiko.co.jp/product/detail/ID4T5YFVWLP>

ソフト名	FRD (Forest Road Designer)
会社名	住友林業株式会社
ソフトの目的	林業用路網設計支援
概要	航空レーザで得られた地形データを活かし、自動で林業用路網の線形案を設計できるソフトウェア。設計時に、幅員やコスト等の様々なパラメータを自由に調整可能であり、作成した線形案の横断面図や縦断面図を自動で作成し、帳票出力することも可能である。完成した線形データは shp・kml 形式で出力可能で、GIS や GNSS レシーバに取り込み、現地確認に利用することもできる。マニュアルが整備されており、習熟難易度は低い。
解析可能項目	● 既設路網の抽出 ● 新規路網の設計
動作環境	● CPU : Intel Core i5 2.2GHz 以上推奨 ● メモリ : 8GB 以上推奨 ● OS : Windows7/8/10 (64bit) ※別途、地盤高データ（ユーザー保有のレーザ計測成果もしくは国土地理院 5m メッシュ※標高）が必要。
価格	ソフトウェア本体価格：500,000 円（税別） データ整備費用：50,000 円（1 市町村単位）

【FRDによる線形案作成の流れ】

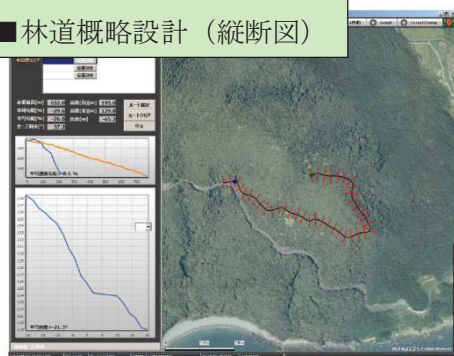


※本ソフトは、線形案作成を支援するものであり、実際の現地における開設線形の選択・決定については、各ユーザーが判断する必要がある。

参照：<http://sfc.jp/information/news/2017/2017-11-01.html>

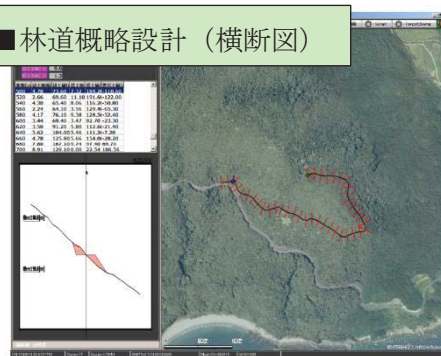
ソフト名	MAGIS (マジス)
会社名	応用地質株式会社
ソフトの目的	治山 GIS や森林 GIS 等の業務支援
概要	ベースとなる MAGIS に各種拡張機能を付加することで、治山や森林等の業務を支援する GIS 型のシステム。
解析可能項目	● 林相の目視判読 ● 既設路網の抽出 ● 新規路網の設計 ● 森林境界の明確化
動作環境	● CPU : 2.0GHz 以上 ● メモリ : 2GB 以上 ● OS : Windows7 以上
価格	ソフトウェア本体価格：1,000,000 円（内容および状況による） データ作成および各種拡張機能：応相談（内容および状況による）

■ 林道概略設計（縦断面図）



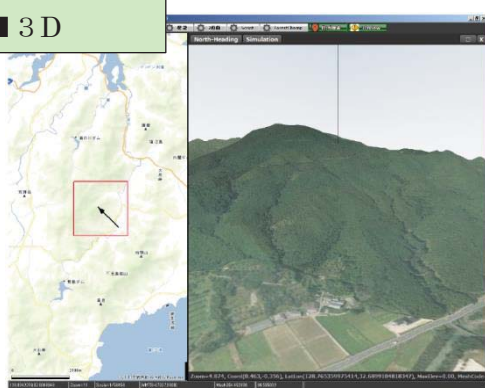
林道計画支援画面①(縦断面図)

■ 林道概略設計（横断面図）



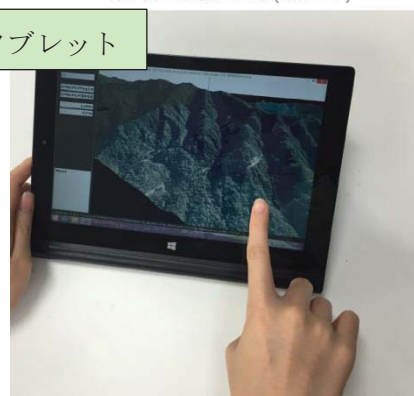
林道計画支援画面②(断面図)

■ 3D

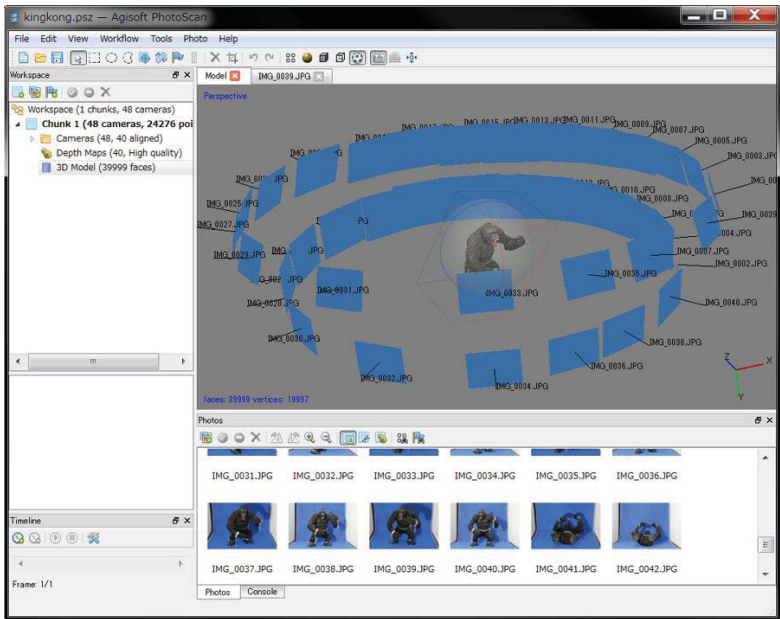


三次元表示

■ タブレット

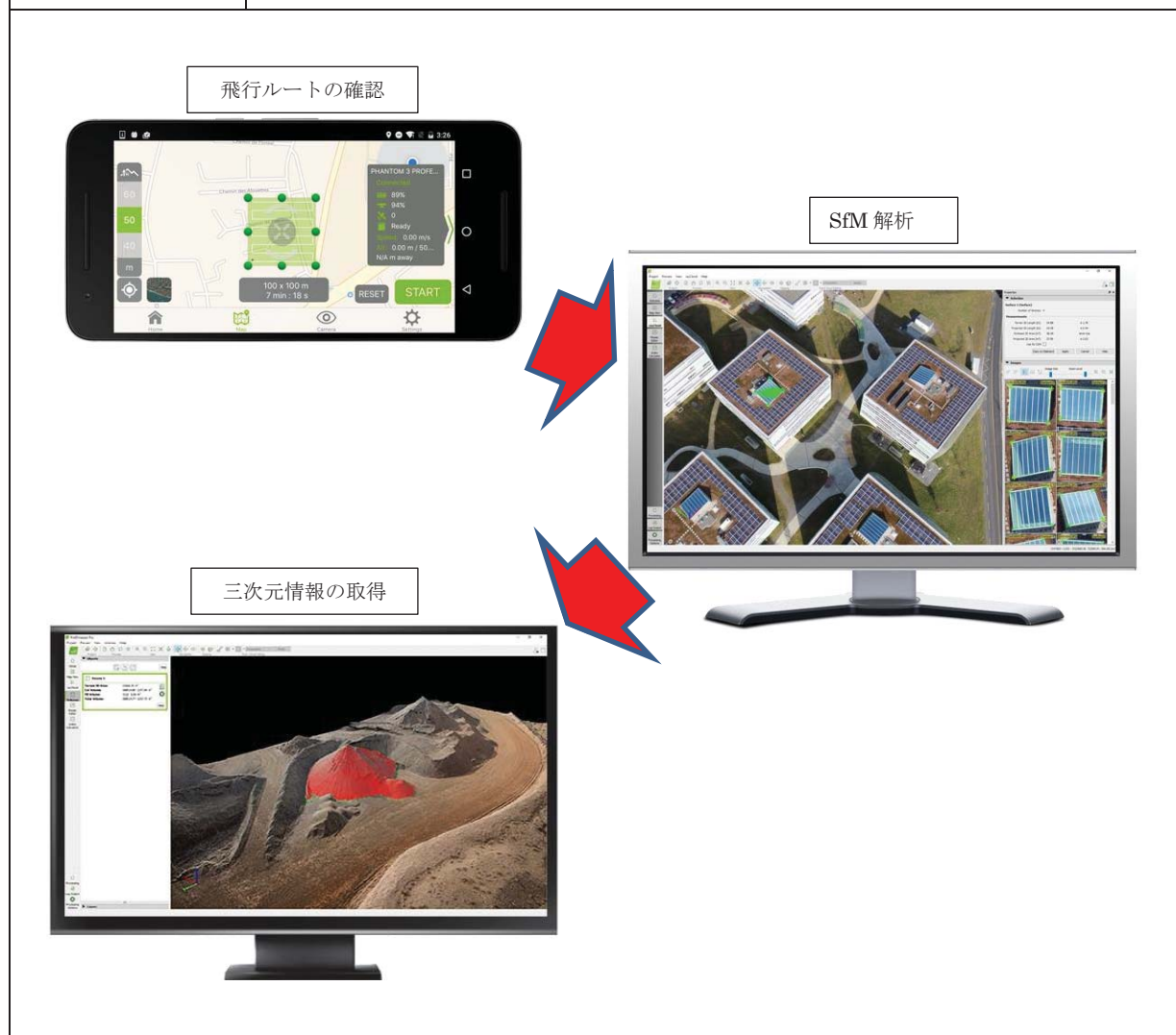


タブレット PC での操作も簡単

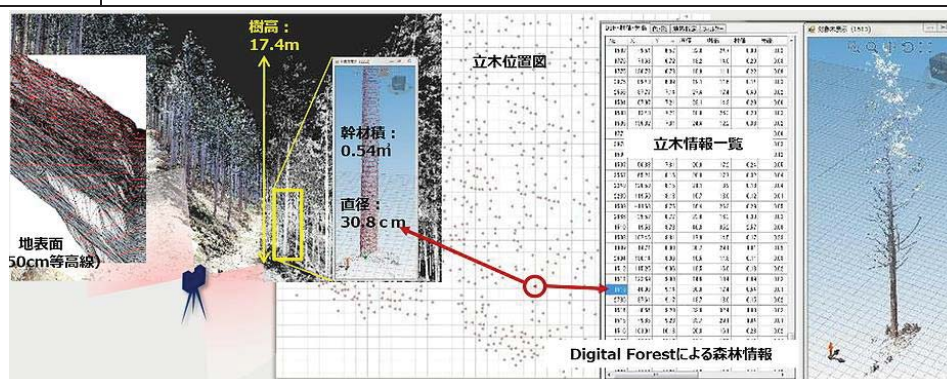
ソフト名	Photo Scan Professional Edition
会社名	Agisoft
ソフトの目的	SfM※解析
概要	複数のラップした写真から三次元点群データおよびオルソ画像を作成するソフトウェア。いくつかの設定の後、画像のマッチング、三次元点群データの出力、オルソ画像の作成を自動で実施することができる。UAV※空撮機と本ソフトウェアがあればデータの取得から前処理まで外部に委託することなく実施可能である。カメラレンズを基とした補正処理を実施しない簡易な SfM 解析ソフト。
解析可能項目	オルソ画像の作成 三次元情報の取得
動作環境	● CPU : Intel Core2Duo 以上 (最新の高速な CPU を推奨) ● メモリ : 4GB 以上を推奨 ● グラフィックボード: GeForce 8xxx シリーズ以降 (NVidia 社)、Radeon HD 5xxx シリーズ以降 (AMD/ATI 社) ● ソフトウェア環境 : 32bit および 64bit 対応
価格	453,600 円
	

参照 : <https://oakcorp.net/photoscan/>

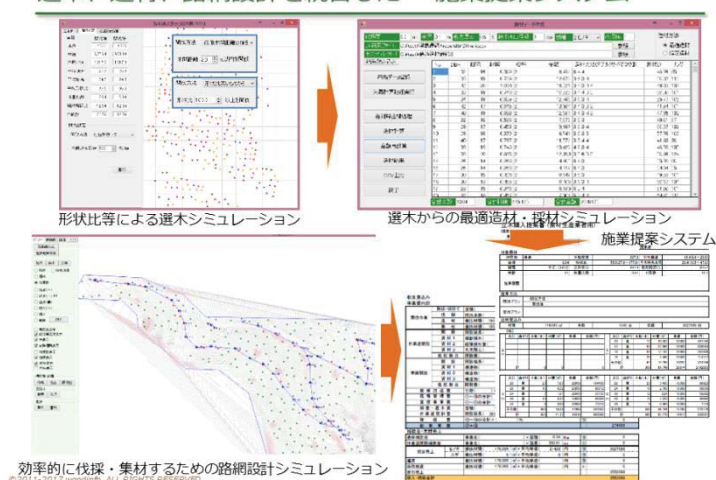
ソフト名	Pix4Dmapper
会社名	Pix4D
ソフトの目的	SfM 解析
概要	複数のラップした写真から三次元点群データおよびオルソ画像を作成するソフトウェア。いくつかの設定の後、画像のマッチング、三次元点群データの出力、オルソ画像の作成を自動で実施することができる。UAV 空撮機と本ソフトウェアがあればデータの取得から前処理まで外部に委託することなく実施可能である。カメラの機種を入力することで、レンズ情報を基とした補正処理を実行するため、高精度の SfM 解析が実施できる。
解析可能項目	オルソ画像の作成 三次元情報の取得
動作環境	● CPU：quad-core または hexa-core Intel i7/ Xeon 推奨 ● メモリ：16~32GB ● グラフィックボード：GeForce 2GB RAM 推奨 ● ソフトウェア環境：Windows 7,8,10 64bit
価格	1,200,000 円



ソフト名	Digital Forest Pro
会社名	株式会社 woodinfo
ソフトの目的	地上レーザデータ処理、森林解析、路網検討
概要	計測した点群の表示ができ、林内の状況を現地調査と同じような視点から確認することができる。また、単木ごとの森林資源情報、点群の確認が可能。地盤面の点群から地盤高データや等高線を作成することが可能。使用する地上レーザの機器に制限はなく、出力データとして shp ファイルや excel ファイルとする等汎用性がある。
解析可能項目	● 森林資源情報解析 (立木密度・樹木位置図・樹高・胸高直径・材積・曲がり・樹種) ● 三次元情報の取得 ● 地盤点群データ ● 新規路網の設計
動作環境	● メモリ：4GB 以上 ● ソフトウェア環境：Windows 8 64bit
価格	ソフトウェアのみ 4,320,000 円

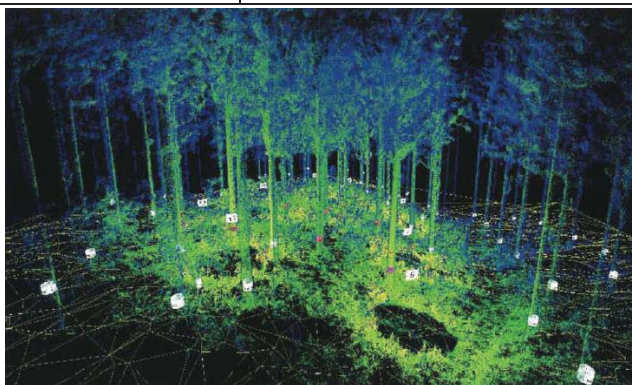


森林情報を活用した収支計画：
選木、造材、路網設計を統合した “施業提案システム”

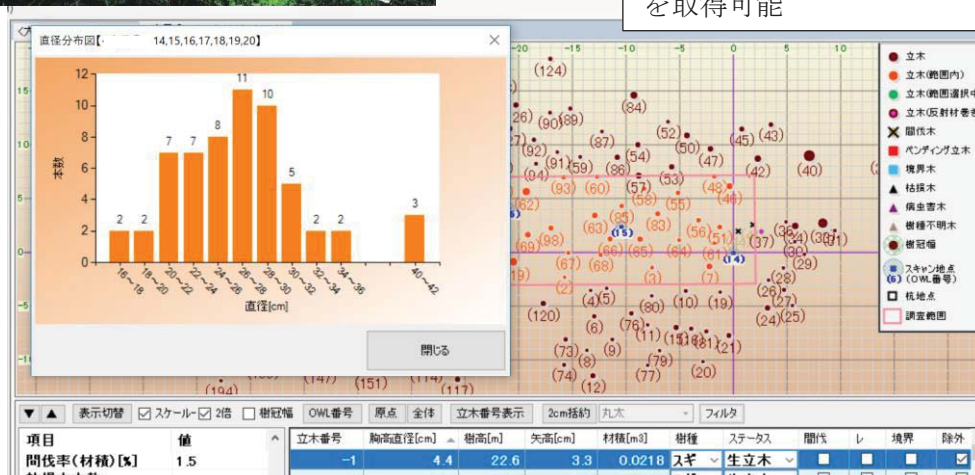


参照： <http://maple96.wixsite.com/woodinfo/digital-forest>

ソフト名	OWLManager
会社名	株式会社アドイン研究所
ソフトの目的	地上レーザデータ処理、森林解析
概要	地上レーザ計測機器OWLにより取得したデータの専用ソフトウェアである。森林解析に特化したソフトウェアであり、林内の点群の状況を表示できる。点群上に解析結果が表示でき、点群と解析結果の内容を同時に確認することができる。立木位置やスキャン地点を shp ファイルで出力可能。データの解析時間が短く、取ったデータの確認をすぐ行うことができる。
解析可能項目	● 森林資源情報解析 (立木密度・樹木位置図・樹高・胸高直径・材積・曲がり・樹種) ● 三次元情報の取得 ● 地盤点群データ
動作環境	● CPU : Intel core i5 以上 (Intel core i7 推奨) ● メモリ : 4GB 以上 (8GB 以上推奨) ● ディスプレイ : SXGA (1280×1024) 以上推奨 ● ソフトウェア環境 : Windows 7,8,10 64bit
価格	標準価格 (計測装置+ソフトウェア) 4,230,000 円



林内計測データを処理し、
単木ごとの森林資源情報
を取得可能



参照 : <http://www.re-forest.com/product/owl.html>

用語集

あ行

- 陰陽図

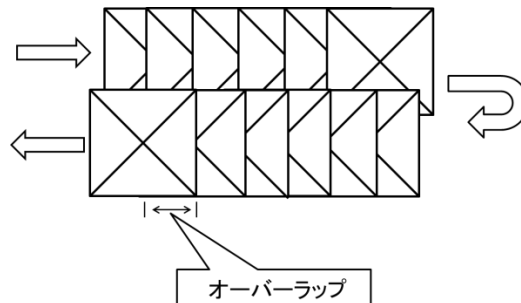
朝日航洋株式会社が考案した微地形表現図。地形の凹凸によりできる影を表現した陰陽値を基に作成する、地形を立体的に表現した微地形表現図。

- 陰影段彩図

標高の違いを表現する一つの方法として、標高に応じて段階的に色調を変化（例えば、青～赤等）させた段彩図がある。この段彩図に、任意の方向から太陽光が当たっていると仮定して、地形の影を表現した陰影を組み合わせた地図を陰影段彩図と呼ぶ。

- オーバーラップ

航空機や UAV の飛行方向における隣接した空中写真や UAV 写真の重複を指す。重複している割合をオーバーラップ率と呼び、空中写真の立体視や空中三角測量等を行う場合には最低でも 60% のオーバーラップ率が必要となる（SfM ソフトの使用には 80% が必要）。

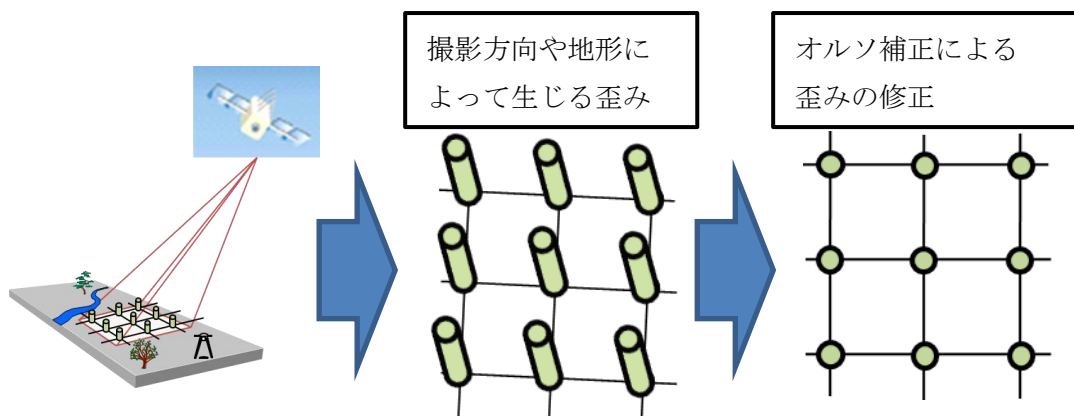


- オブジェクトベース分類

ピクセル（画素）ごとに林相进行分类するのではなく、同じような色調の範囲を一つのまとまりとして識別して区画を作成し、その区画を自動で林相判読する手法。ピクセル（画素）ごとではなく、区画ごとに分類を行うので、目視判読に近い結果が得られるという特徴がある。

- オルソ画像

中心投影や撮影方向、地形によって生じる画像の位置ズレを、三次元情報を基に位置補正した画像。正射投影画像ともいう。ここでは正射投影画像をつなぎ合わせたオルソモザイク画像を広義として含めている。



- **オリジナルデータ**

航空機等から照射されたレーザは地表物体に反射し、反射した物体の三次元情報（緯度、経度、標高）が取得できる。反射物体は地盤だけでなく、樹木や建物等も含み、様々な地表物体の三次元情報データとなり、これらの三次元情報をオリジナルデータと呼ぶ。オリジナルデータをフィルタリング処理して、地盤高や表層高を作成する。

か行

- **解像度**

画像を構成する最小単位のピクセル（画素）の縦と横の長さを表す値。解像度が 1.0m の場合、一つ一つのピクセル（画素）は 1.0m となる。一つのピクセル（画素）だけでは撮影された物体の識別は困難であり、数ピクセル（画素）をまとめて撮影された物体を識別できる。

- **外部標定要素**

写真を撮影したときのセンサ（カメラ）の位置や傾きに関する情報。

- **幾何補正**

基準となる地図や画像等との空間位置の較差を GCP により補正すること。

- **近赤外線**

波長が比較的短い赤外光。およそ 750~1,400nm の波長帯の光を近赤外線と称する。人の目で視認することができない不可視光である。

- **輝度**

光学衛星画像の各波長帯に記録されるピクセル（画素）の値。センサにより記録される値の幅が異なり、0~255（8bit）や 0~65535（16bit）等の幅があり、いずれかの値が記録されている。数値が大きいほど地表からの反射が強く、明るいことを表している。

- **クラウド**

インターネット環境下において、ユーザの手元ではなく、インターネットを介して特定領域に情報を保存して、個人または複数の人がその情報を利用する仕組み。ユーザは手元にハードディスクなどの情報記録媒体を必要とせず、インターネット通信さえあれば、情報を確認したり、共有したりできるが、情報をアップロードしたり、ダウンロードしたりするインターネット環境が必要となる。

- **傾斜区分図**

任意の範囲で地盤高を用いて、地形傾斜を計算した地図。

- **光学衛星画像**

人工衛星に搭載したセンサにより、地球上を撮影した画像。

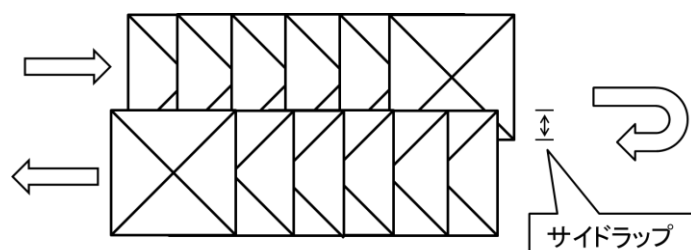
- **航空レーザ**

航空機に搭載したレーザ計測機器（レーザを用いた距離を測るための機器）から地表に向けてレーザを連続的に発射し、レーザが反射した地上物体の三次元位置情報を取得する計測技術。

さ行

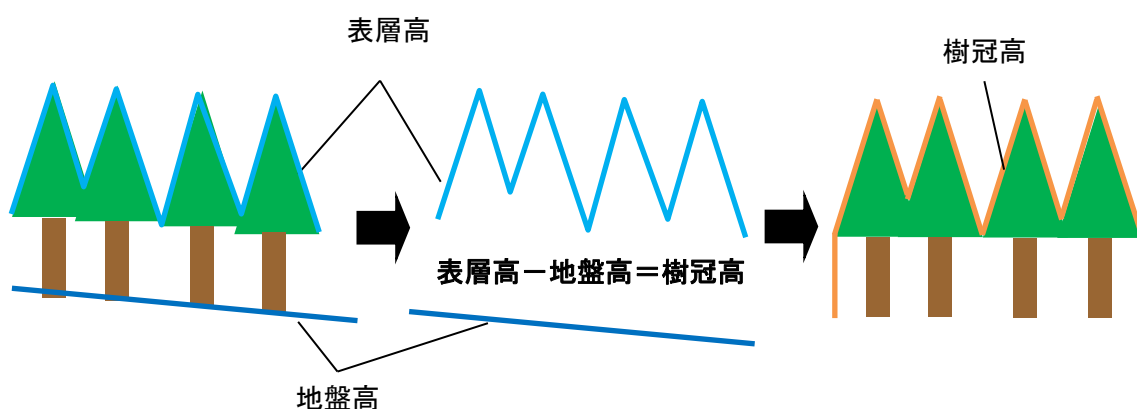
・サイドラップ

撮影コース間における隣接した空中写真や UAV 写真の重複を指す。重複している割合をサイドラップ率と呼び、空中写真の立体視や空中三角測量等を行う場合には最低でも 30%以上のサイドラップが必要となる（SfM ソフトの使用には 80%が必要）。



・樹冠高

表層高（DSM）と地盤高（DEM）の差分を計算して作成する樹冠の高さを表したデータ。樹冠高モデルや DCHM（Digital Canopy Height Model）とも呼ばれる。



・地盤高

地表を任意のメッシュに区切り、メッシュごとに地盤の高さを記録した情報。国土地理院では 5m メッシュや 10m メッシュで地盤高が公開されている。また、レーザ計測では取得したオリジナルデータをフィルタリング処理して樹木や建物等を除去し、TIN を形成したの後にメッシュ化した三次元情報。数値標高モデルや DEM（Digital Elevation Model）とも呼ばれる。

・スキャンレート

一秒間あたりのレーザ照射の振幅回数。レーザは点状に照射されることから、振幅することにより帯状に三次元データを取得することができる。なお、振幅する幅を決める要素としてスキャン角がある。

・赤色立体地図

アジア航測株式会社が考案した、傾斜量を赤色の彩度で、尾根谷度を明度として調製することで地形を立体的に表現した微地形表現図。

- ・ **全天球写真**

全天球カメラで撮影した上下左右全方位の 360 度パノラマ写真。

た行

- ・ **対地高度**

地表面の高度と航空機等の飛行高度の差。

- ・ **地形判読**

空中写真や地形図等から崩壊地や地すべり跡等の地形の特徴を読み取る判読作業。

- ・ **中心投影**

レンズの中心に光束が集まり画像が取得される撮影方法。レンズの中心から対象物までの距離の違いにより、写真上の像に位置ズレ（倒れ込みともいう）が生じる。

- ・ **ディープラーニング**

PC による機械学習で、人間の脳神経回路を模したニューラルネットワークを多層的にすることにより、PC 自らがデータに含まれる潜在的な特徴を捉え、より正確で効率的な判断を実現させる技術。

な行

- ・ **内部標定要素**

写真を撮影したセンサのレンズの焦点距離や歪み等といった機材特性に関する情報。

は行

- ・ **ハイパースペクトル**

複数の波長帯の電磁波を観測できる光学センサ。観測できる波長帯の数は 100 以上。

- ・ **パルス**

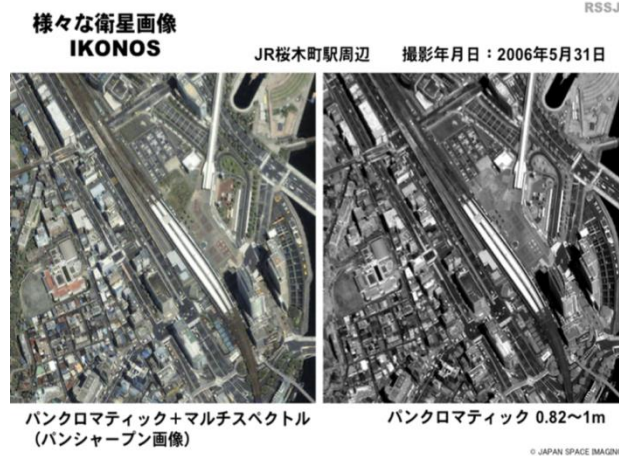
レーザ計測機器より照射されるレーザ光を指す。航空レーザ計測機器は近赤外波長帯のパルスが多く、人の目で視認することはできない。

- ・ **パルスレート**

一秒間に照射されるレーザパルス数。

- **パンクロマティック**

光学センサによるモノクロ画像（下右図）。モノクロ画像ではあるが、マルチスペクトルの画像に比べて高い解像度を持つ。マルチスペクトルの画像解像度を高めるために利用され、マルチスペクトル画像とパンクロマティック画像を組み合わせた画像をパンシャープン画像と呼ぶ。



日本リモートセンシング学会「基礎からわかるリモートセンシング」の講義用パワーポイント (<https://www.rssj.or.jp/journal/rm/>) より引用

- **バンド**

リモートセンシングで観測される特定波長帯を指す。観測波長帯が短い方から順にバンド 1、バンド 2 という形でバンドを区別する。各バンドで得られた数値情報を RGB カラー等の色調表現方法に当てはめて、カラー合成画像が作成できる。

- **ピクセル**

デジタル画像を扱うときの、色情報を持つ最小単位。画素とも呼ばれる。

- **微地形表現図**

地盤高を基に微地形の情報を表現した画像。等高線図では識別が困難な路網情報を把握することが容易にできる。

- **表層高**

森林域では主に樹冠表層面の高さを表すデータ。レーザ計測では、取得したオリジナルデータをフィルタリング処理して樹冠表層面からの反射パルスを抽出し、TIN を形成した後にメッシュ化した三次元情報。樹冠表層高モデルや DSM (Digital Surface Model) とも呼ばれる。

- **標定図**

空中写真測量で、空中写真の撮影コースと撮影番号を表した地図。

- **フィルタリング処理**

航空レーザ計測で得られるオリジナルデータから目的とする反射パルス（地盤からの反射パルスや樹冠表層面からのパルス）以外を除去する処理。

- **ベクタ**

ポイント、ライン、ポリゴン（多角形）といった図形に位置情報を付与したデータ。また、個々の図形に複数の情報を付与することもできる。GIS ソフトでは shape 形式が一般的である。

ま行

- マルチスペクトル

複数の波長帯の電磁波を観測できる光学センサ。観測できる波長帯の数は多くても 10 程度。

- メッシュ

格子状に作成されたデータの格子間隔を指す。0.5m メッシュの地盤高の場合、0.5m 間隔に高さデータ（標高値）が格納されている。

ら行

- ラップ率

オーバーラップやサイドラップの重複割合を指す。

- ラスタ

ピクセル（画素）の集合体からなる画像データを指し、空中写真のように 1 枚の画像として表現される。GIS ソフトでは tiff 形式等が一般的に用いられる。

- 立体視

連続した空中写真をそれぞれ左右の目で、直視または機器を使用して見ることで地表を立体的に確認する方法。

- 林相識別図

航空レーザや UAV レーザで得られた反射強度や樹冠高等を基に樹種の識別が容易になるように色づけた画像。空中写真の植生域が緑色系で表されるのに対して、豊かな色合いで林相の違いを表現できるという特徴がある。

- 林相判読

オルソ画像やレーザ解析結果を用いて、樹種や樹齢等の森林形態について読み取る方法。

- 林分密度管理図

一斉林の密度管理のために地域ごと樹種別に作成され、横軸に立木密度、縦軸に ha 当たりの幹材積をとった両対数のグラフ。グラフ中には胸高直径ごと、平均樹高ごと、収量比数ごとに曲線が引かれている。

A-Z

- CS 立体図

長野県林業総合センターが開発考案した、曲率と傾斜を基に地形を立体的に表現した微地形表現地図表現図。

- GCP

Ground Control Point（地上基準点）の略称。画像の幾何学的補正等に使用する画像内で座標や高さ情報が明らかになっている点を指す。空中写真や UAV 写真撮影の際には対空標識を設置し、その位置を GNSS 観測して画像の位置や高さの補正作業を行う。また、多時期の地図や画像の重ね合わせでは、既存のデータと新規取得したデータの同一点を取得し、位置を補正することもでき、この処理を幾何補正と呼ぶ。

- **GIS**

Geographic Information System の略称。地理情報システムと呼ばれており、地図が持つ情報と、その場所が持つ空間情報を重ね合わせ、視覚的に表示するシステム。

- **GNSS**

Global Navigation Satellite System の略称。GPS（アメリカ）や GLONASS（ロシア）、準天頂衛星等の測位衛星システムの総称。

- **IMU 装置**

Inertial Measurement Unit の略称。航空機や UAV のゆれ、傾き、加速度を計測する慣性計測装置。ジャイロとも呼ばれる。

- **SfM**

Structure from Motion の略称。カメラの位置姿勢と対象の座標を取得し、対象の三次元的形状を把握する方法。

- **TIN**

Triangulated Irregular Network の略称。座標や高さ情報を持つ複数の点の隣接する点を結び三角形を形成し、この三角形の集合で表現された高さを表す面的な情報。点の集合体を面情報として変換するときに使われる。

- **UAV**

Unmanned Aerial Vehicle（無人航空機）の略称。人が搭乗することなく、遠隔地（地上）から操縦することができる航空機。ドローンとも呼ばれる。

参考文献

資料① 改訂版 図解リモートセンシング

【著者】日本リモートセンシング研究会
【出版社】社団法人 日本測量協会
【出版年月】2004 年 6 月 15 日
【掲載センサ】光学衛星画像・空中写真
【概要】リモートセンシングの基礎、センサ・衛星の種類ごとの特性の違いや画像処理の補正・分類方法が記載されている。

資料② 基礎からわかるリモートセンシング

【著者】日本リモートセンシング学会
【出版社】理工図書株式会社
【出版年月】2011 年 6 月 11 日
【掲載センサ】光学衛星画像・空中写真・航空レーザ
【概要】波長の吸収・反射・透過やプラットフォームの種類・特性等のリモートセンシングの基礎が記載されている。また、大気・陸域・水域業務への利用、画像の処理や分類精度の評価方法に関して記載されている。

資料③ 現代林学講義 10 測樹学

【著者】南雲 秀次郎・箕輪 光博
【出版社】株式会社 地球社
【出版年月】1990 年 2 月 10 日

資料④ 最新 森林航測テキストブック

【著者】渡辺 宏
【出版社】社団法人 日本林業技術協会
【出版年月】1993 年 7 月 20 日
【掲載センサ】光学衛星画像・空中写真
【概要】森林航測の基礎的な知識をはじめ、測量・判読・航測技術に関する説明、実際の活用方法が記載されている。

資料⑤ 資源調査のためのリモートセンシング実用シリーズ 別冊 用語辞典

【著者】財団法人 資源観測解析センター
【出版社】財団法人 資源観測解析センター
【出版年月】1989 年 3 月 31 日
【掲載センサ】光学衛星画像・空中写真
【概要】衛星、データの受信・処理解析、リモートセンシングに関連している中から 600 項目を見出しとし、その中の 500 項目について解説している用語辞典。

資料⑥ 資源調査のためのリモートセンシング実用シリーズ③ 画像データの処理と解析 (1)

【著者】財団法人 資源観測解析センター
【出版社】財団法人 資源観測解析センター
【出版年月】1989 年 3 月 31 日
【掲載センサ】光学衛星画像・空中写真
【概要】航空・光学衛星画像処理の役割や基礎、基本的な処理方法と画像の表現方法に関して紹介。

資料⑦ 資源調査のためのリモートセンシング実用シリーズ③ 画像データの処理と解析 (2)

【著者】財団法人 資源観測解析センター
【出版社】財団法人 資源観測解析センター
【出版年月】1990 年 3 月 31 日
【掲載センサ】光学衛星画像・空中写真
【概要】航空・光学衛星画像データのスペクトル処理や空間的処理に関して記載されており、GIS を用いて地理情報を併用した画像処理方法に関しても記載されている。

資料⑧ 実務者のためのリモートセンシングデータ処理/解析の基礎から見積書・仕様書の作成まで

【著者】大林 成行
【出版社】株式会社 フジ・テクノシステム
【出版年月】1995 年 8 月 19 日
【掲載センサ】光学衛星画像・空中写真
【概要】衛星データの利用事例、画像の処理・解析方法に関して記載されており、見積書や仕様書作成の例が掲載されている。

資料⑨ 新編 画像解析ハンドブック

【著者】高木 幹雄・下田 陽久
【出版社】東京大学出版会
【出版年月】2004 年 9 月 10 日
【掲載センサ】光学衛星画像・空中写真
【概要】画像処理に関する方法、機能、利用を中心に記載されており、アルゴリズムの知識やデジタル画像処理アルゴリズムに関しても詳しく記載されている。

資料⑩ **新編 リモートセンシング用語辞典**

【著者】財団法人 資源観測解析センター
【出版社】財団法人 資源観測解析センター
【出版年月】1996年3月31日
【掲載センサ】光学衛星画像・空中写真
【概要】”資源調査のためのリモートセンシング実用シリーズ 別冊 用語辞典”を改善し、602語収録してある用語辞典。衛星・センサの一覧表が掲載されている。

資料⑪ **森林計測学講義**

【著者】大隅 眞一
【出版社】株式会社 養賢堂
【出版年月】1987年2月10日
【掲載センサ】航空画像
【概要】立木・伐採木の測定方法、毎木調査や標本調査に基づく林分材積の推定方法、林分成長量の推定に関して記載されている。

資料⑫ **森林リモートセンシング 第4版 基礎から応用まで**

【著者】加藤 正人
【出版社】株式会社 日本林業調査会
【出版年月】2014年4月10日
【掲載センサ】光学衛星画像・空中写真・航空レーザ・UAV写真・UAVレーザ・地上レーザ
【概要】リモートセンシングの基礎をはじめ、航空レーザ・人工衛星を使用した森林バイオマス推定、樹種分類方法や、森林GISの自治体利用例等が記載された教材。

資料⑬ **図解 航空レーザ計測 基礎から応用まで**

【著者】齊藤 和也
【出版社】財団法人 日本測量調査技術協会
【出版年月】2008年3月31日
【掲載センサ】航空レーザ
【概要】航空レーザの歴史や知識、データの収集・解析、表現方法が記されている。

資料⑭ **図解 航空レーザ測量 ハンドブック**

【著者】航空レーザ測量WG・株式会社 コクサイクリエイティブセンター
【出版社】財団法人 日本測量調査技術協会
【出版年月】2004年1月
【掲載センサ】航空レーザ
【概要】航空レーザの知識や原理の説明のほか、作業の計画から計測、データの処理、加工の流れを解説した教材。分野ごとの活用事例も掲載されている。

資料⑮ **第三版 リモートセンシング・GIS データ解析実習～入門編～**

【著者】露木 聡
【出版社】株式会社 日本林業調査会
【出版年月】2016年7月11日
【掲載ソフト】TNTlite (TNTmipsの体験版)
【概要】TNTliteの使用時におけるリモートセンシングデータ解析と、GISデータ解析の作業手順と内容が記載されている。

資料⑯ **リモートセンシング実用講座 画像の処理と解析**

【著者】日本リモートセンシング研究会
【出版社】共立出版株式会社
【出版年月】1981年5月1日
【掲載センサ】光学衛星画像・空中写真
【概要】航空・光学衛星画像の入手方法、眼による画像の判読方法、機械による画像の処理・解析方法が記載されている。

資料⑰ **ArcGIS for Desktop 逆引きガイド 10.3.x 対応**

【著者】ESRI ジャパン株式会社
【出版社】ESRI ジャパン株式会社
【出版年月】2015年12月17日
【掲載ソフト】ArcGIS
【概要】ArcGISの操作方法が掲載された逆引きガイド。

資料⑱ **CAD/CG/GIS ユーザーのための航空・衛星写真画像ハンドブック**

【著者】津留宏介・峰島貞治・古本秀明・馬河紘子
【出版社】株式会社 古今書院
【出版年月】2008年7月1日
【掲載センサ】光学衛星画像・空中写真
【概要】航空・光学衛星画像と地図の重ね方や写真図の作成方法、画像の種類と入手方法や利用・保管方法が記載されている。

地球観測衛星の 基礎知識



[目 次]

衛星リモートセンシングについて知る

1. リモートセンシングと放射伝達

1-1 リモートセンシングって何？	P2
1-2 地球観測衛星によるリモートセンシング	P2
1-3 リモートセンシングの仕組み	P2
1-4 放射伝達計算について	P3

2. 地球観測衛星の種類

2-1 地球観測衛星の種類	P4
2-2 地球観測衛星の軌道	P4
2-3 地球観測衛星の解像度	P5
2-4 地球観測衛星の観測幅	P5
2-5 地球観測衛星データからわかること	P6

データ処理について知る

3. 衛星データができるまで

3-1 衛星データの処理と プロダクト区分について	P7
3-2 衛星画像の前処理例	P8
3-3 カラー合成	P9
3-4 パンシャープン処理	P10

4. 物理量プロダクトの紹介

4-1 True Color RGB 画像	P11
4-2 正規化植生指数 (NDVI)	P11
4-3 エアロゾル光学的厚さ	P12
4-4 クロロフィル a 濃度	P12
4-5 積雪・海氷分布	P12
4-6 海面水温 (SST)	P13
4-7 降水量	P13
4-8 土地利用土地被覆図 (LULC)	P14
4-9 全球高精度デジタル 3D 地図 (AW3D)	P14
4-10 温室効果ガス濃度	P14
4-11 各衛星のプロダクト紹介ページ	P14

データを解析する

5. データ解析の流れ

5-1 地球観測衛星データについて知る	P15
5-2 解析の目的を整理する	P15
5-3 衛星データを探す、解析手段を決める	P15
5-4 衛星データを取得する	P15
5-5 衛星データを読み込む	P16
5-6 衛星データの座標系の変換	P16
5-7 目的に合わせた解析処理を行う	P17
5-8 結果の出力	P17
5-9 参考情報	P17

6. ファイル形式の紹介

P18

7. データ DL サイトの紹介

7-1 主なデータダウンロードサイト	P19
7-2 G-Portal	P19
7-3 JASMES	P20
7-4 GSMap	P20

8. 解析ツール / サイトの紹介

8-1 Tellus	P21
8-2 Google Earth Engine	P21
8-3 QGIS	P21
8-4 HDFView	P22
8-5 EISEI	P22
8-6 Panoply	P22
8-7 SNAP	P22

1. リモートセンシングと放射伝達

1-1 リモートセンシングって何？

リモートセンシングとは、遠く離れたところ（リモート）から、対象物に触れずに対象物の形や性質を測定する（センシング）技術のことです。

地球観測衛星は、地球のはるか上空の宇宙空間から、地球上

で起きる自然現象や災害、私達人間の活動が地球にもたらす変化を測定しているので、まさに「リモートセンシング」を行っているといえます。

1-2 地球観測衛星によるリモートセンシング

では宇宙からの地球のリモートセンシングとは具体的に何をしているのでしょうか？

地球観測衛星は、地球のはるか上空の宇宙から、大気や地表面近くの地球環境の状態や自然現象を測定するために、主に地球から放射・反射される電磁波を観測しています。

「電磁波」というと、最も身近な例として、私達の目に見える「可視光」があります。しかし、図1に示すように、可視光とは電磁波の中のほんの一部分の波長帯の電磁波のみを指します。他にも可視光よりも波長の長い、「赤外線」や「マイクロ波」と呼ばれる波長帯の電磁波が存在し、地球観測において広く用いられているのは可視光線、赤外線、マイクロ波の波長帯の電磁波です。

地球観測衛星に搭載されているセンサ（観測機器）は、これらの広い波長域の電磁波をキャッチすることができるので、図1の例で示すような、普段私たち目で見ることのできない地球の姿を捉えることが出来ます。

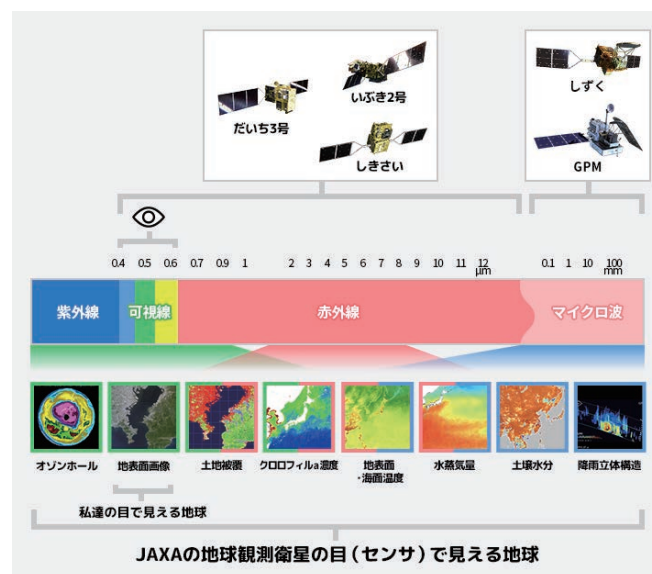


図1 電磁波の波長と呼称。波長域ごとに得られる地球観測データの例

1-3 リモートセンシングの仕組み

では地球観測衛星は、様々な波長の電磁波をどのように利用して地球の様々な姿を観測しているのでしょうか？比較的波長の短い「可視光・近赤外」と波長の長い「熱赤外・マイクロ波」の場合について、観測の仕組みを図と共に簡単に紹介します。

まず、可視光・近赤外の波長帯の光は、太陽光（「太陽放射」）に多く含まれるため、可視光・近赤外を観測する地球観測衛星は、太陽光が地球の表面等で反射・散乱・吸収した電磁波を観測しています。例えば、図2に示すように、可視光・近赤外は地表面の状態（植物が土か水か等）によって、強く反射される電磁波の波長が変化するので、この特性を利用することで地表面の土地被覆情報（都市が森、及び植生の種類等）などが衛星データから得られます（図3（a））。

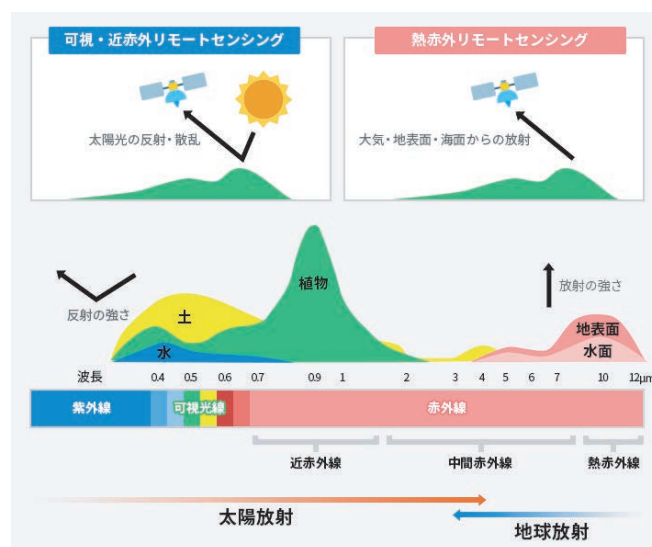


図2 波長域ごとのリモートセンシングの仕組み

1. リモートセンシングと放射伝達

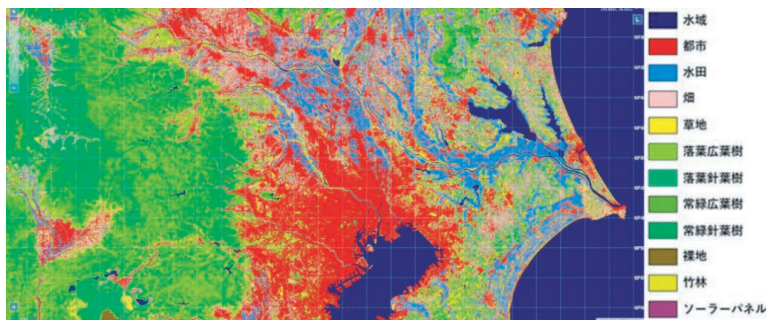


図3(a) 可視・近赤外センサを用いた関東平野の土地被覆分類データ

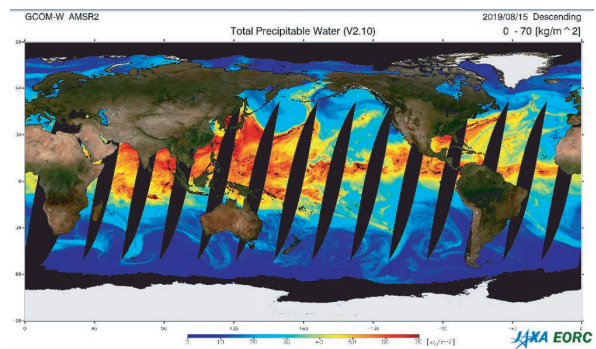


図3(b) マイクロ波放射計で観測した大気中の鉛直積算水蒸気量データ

一方、熱赤外・マイクロ波の波長帯の光は、地球自身（地表面や大気）が放射する光に多く含まれるため、この「地球放射」を利用します。普段私達の目には見えないですが、地表面や大気からは熱赤外・マイクロ波帯の電磁波が常に放射・散乱されており、衛星は図2のように、地表面や大気の状態によって変化する地球放射の強さを捉えます（図2にマイクロ波帯は示されていませんが、マイクロ波の場合は観測周波数間での相対的な放射の強さを利用します）。

地球放射を観測することで、地表面の温度や大気に含まれる水蒸気量（図3（b））などの状態を知ることができます。これらの

観測データは、太陽の光を必要としないため、昼夜を問わずにデータを得ることが出来るという強みがあり、気象予報等の身近な分野でも活用されています。

また、太陽光の反射・散乱光や、地表面・大気からの放射光を受け取るだけでなく、能動的に電磁波を射出し、その反射・散乱光を観測するセンサを搭載した地球観測衛星もあります。初めに説明した電磁波を受け取ることに特化したセンサを「パッシブセンサ」と呼ぶのに対して、こちらは「アクティブセンサ」と呼ばれています。

1-4 放射伝達計算について

では、図2の衛星で観測した太陽放射や地球放射の強度から、どのようにして図3で示すような土地被覆情報や大気中の水蒸気などの物理量に変換しているのでしょうか？それを知るには、もう一歩踏み込んで、宇宙からのリモートセンシングを行う上で欠かせない放射伝達計算について学ぶ必要があります。

放射伝達計算とは、太陽からの光がどのように大気中を伝搬して地表面に届き、また地表面や大気からの散乱光や放射光がどのように伝搬して宇宙空間へと出ていくかを計算するものです。この放射伝達の計算式をもとに、衛星で観測された放射強度を地表面や大気の情報に変換することができます。図4に太陽放射と地球放射の放射伝達概念図を示していますが、太陽放射も地球放射も、地表面や大気による吸収・散乱・放射を何度も繰り返した後に宇宙空間へ出ていった結果を衛星で観測しています。

図4では単純な例を示していますが、実際の宇宙からのリモートセンシングでは、植生、積雪などの地表面の状態や、雨や風などの大気の状態も放射強度に影響します。衛星によって観測された情報から、実際の地球や大気の状態を推定するためには、これらの複雑な過程を可能な限り考慮した放射伝達計算をもとに、物理量を推定するアルゴリズムを構築する必要があります。

宇宙からのリモートセンシングにおいて、放射伝達計算は地球や大気の状態をより正確に推定するためのとても重要な基盤となっています。

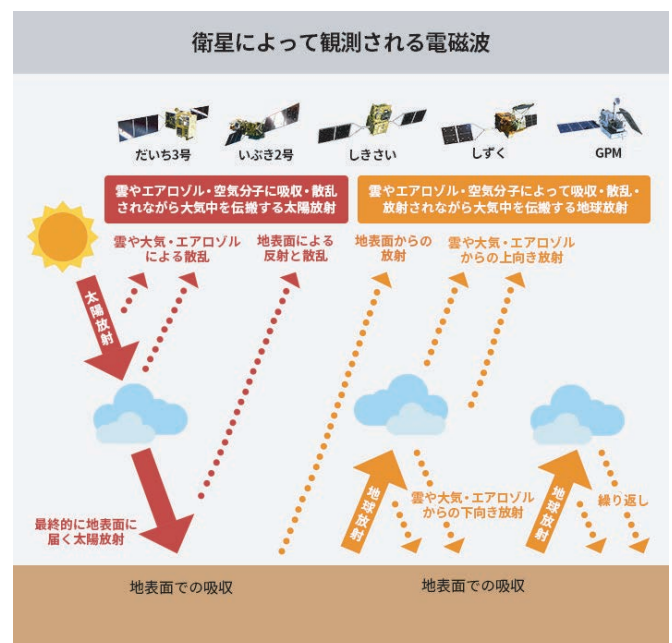


図4 太陽放射と地球放射の放射伝達概念図

2. 地球観測衛星の種類

2-1 地球観測衛星の種類

地球観測衛星とは、宇宙から地球で起きる諸現象を観測している衛星です。自然現象や災害監視、私たち人間の活動による地球の変化の観測など目的に応じて搭載センサが異なり、日本をはじめ世界各国で多くの衛星があります。

観測結果は、衛星画像や観測データとして提供され、地球に関する様々な情報を読み取ることができ、地球環境変動の監視やそのプロセスを解明するための研究などに有効活用されています。

搭載センサによって衛星データで見えるものが異なります。センサは、大きく分けて光学センサとマイクロ波センサの2種類があり、その一部を紹介します。(①②③は光学センサ、④⑤はマイクロ波センサ)

① 可視・近赤外センサは、主に太陽光を反射した対象物の可視光や近赤外線を捉えることで、その対象物の量や種類を識別できます。そのため、雲の下や夜間は観測できません。主に、植物の分布状況、海の色、市街地などの地表の状態を知ることができます。

② 熱赤外センサは、太陽の光を浴びて暖められた対象物などから放射される熱赤外線を捉えます。雲がなければ夜間でも地表を

観測できます。主に、地表面や海面の温度、火山活動や山火事などの状況を知ることができます。

③ ライダーは、可視・近赤外域の光を発射し、対象物から反射して戻ってくる強度や時間、波長の変化を測定することで、対象までの距離や状態を精密に計測できます。主に森林の樹高の測定、氷床の厚み、風速などを知ることができます。

④ SARIは、対象物に対して電波を放射し、その反射波の強さや位相で地表面の状態を知ることができます。能動的に電波を放射しており、電波は雲を通過するため、昼夜天候に左右されずに観測できます。主に、火山や地震活動などによる地形変化、森林伐採監視、浸水域や船舶の動きを知ることができます。

⑤ マイクロ波放射計は、地表面および大気から自然に放射されているマイクロ波を捉えることで、水やエネルギー循環を把握するための物理量を、昼夜天候に左右されずに観測できます。主に、海面の温度、大気の水蒸気量、降水量、海水の分布や積雪の厚さなどの状況を知ることができます。

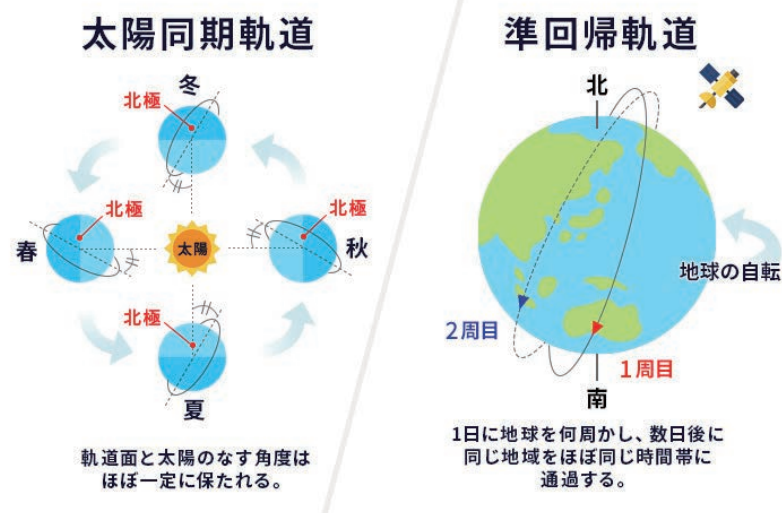
2-2 地球観測衛星の軌道

軌道とは、地球観測衛星をはじめとする各種人工衛星が地球の周りを飛ぶときの道筋をいいます。軌道にはいくつかの種類があり、どの軌道を飛ぶのかは人工衛星の目的によって決められています。

主に、地球観測衛星は極軌道(極を通る軌道)の一種である太陽同期準回帰軌道が利用されています。太陽同期軌道は、(衛星と太陽の位置関係が常に一定で、太陽条件が同一の飛行)と準回帰軌道(一定の周期で同一時刻、同一地点の飛行)を組み合わせた軌道のことです。

太陽同期準回帰軌道で飛行すると、観測時の地球表面への太陽光の入射角がほぼ一定となるため、地球表面からの放射・反射量を比較的均等に観測でき、同じ地域を一定の間隔で観測することができます。地球観測衛星が地球を一周する時間(周期)や何日間隔で同じ地域の上空を通過するかという日数(回帰日数)は、軌道の高度と傾斜角によって異なります。

また、静止軌道は、自転する地球との相対関係を常に一定に保つ軌道であるため、衛星から常に同じ場所が見えます。主に、気象観測衛星(ひまわり)、放送衛星、通信衛星に利用されています。

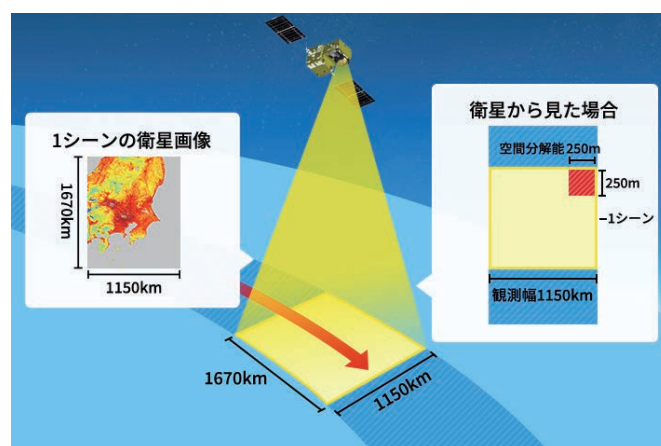


2. 地球観測衛星の種類

2-3 地球観測衛星の解像度

解像度とは、地球観測衛星の搭載センサが、地上の物体をどれくらいの大きさまで見分けることができるかを表す言葉です。解像度が高いほど、地上の細かい様子を観測するのに優れています。解像度は、分解能又は空間分解能ともいいます。

下に示した2種類の衛星画像は、同じ地域を異なるセンサを用いて観測したものです。センサの解像度や特徴の違いにより、見え方に違いがあることがわかります。



筑波宇宙センター付近の可視画像

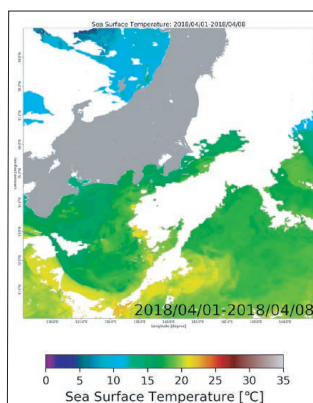


衛星名/センサ: ALOS/ PRISM
解像度: 2.5m

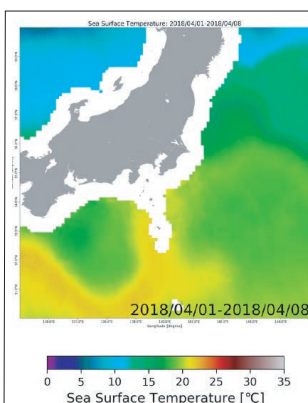


衛星名/センサ: ALOS-3/
広域・高分解能センサ
解像度: 0.8m (シミュレーション画像)

海面水温画像 (8日平均)



衛星名/センサ: GCOM-C/SGLI
解像度: 250m
高解像度であるが、
雲の下は正確に観測できない



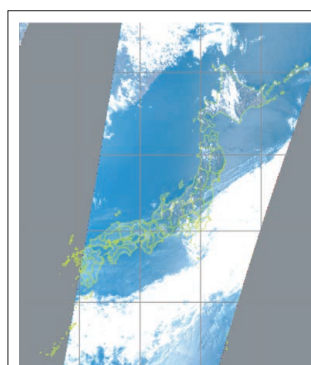
衛星名/センサ: GCOM-W/ AMSR2
解像度: 50km
解像度は劣るが、
強い雨以外は観測できる

2-4 地球観測衛星の観測幅

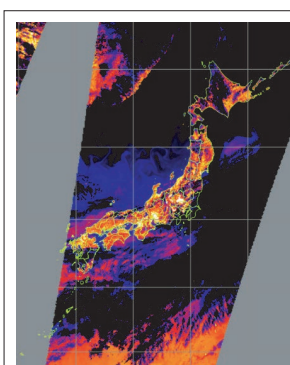
観測幅とは、多くの場合地球観測衛星の搭載センサが観測できる幅(軌道と直交した方向の幅)のことで、走査幅ともいいます。衛星は観測幅の範囲を軌道にそって帯状に観測しているため、使いやすい大きさ(シーンという)に切り出して提供しています。観測幅や衛星画像1シーンの大きさは、センサの種類によって異なります。

例えば、気候変動観測衛星「しきさい (GCOM-C)」の可視画像と熱赤外線画像を比較してみます。可視センサの観測幅は1150km、熱赤外センサは1400kmとなっています(長崎県が熱赤外線では観測範囲に入っています)。同じ衛星でも搭載センサにより、観測幅などの違いがあることがわかります。

ある同日のGCOM-Cの搭載センサによる観測幅の違い



可視画像
衛星/センサ: GCOM-C/SGLI-VNR
観測幅: 1150km

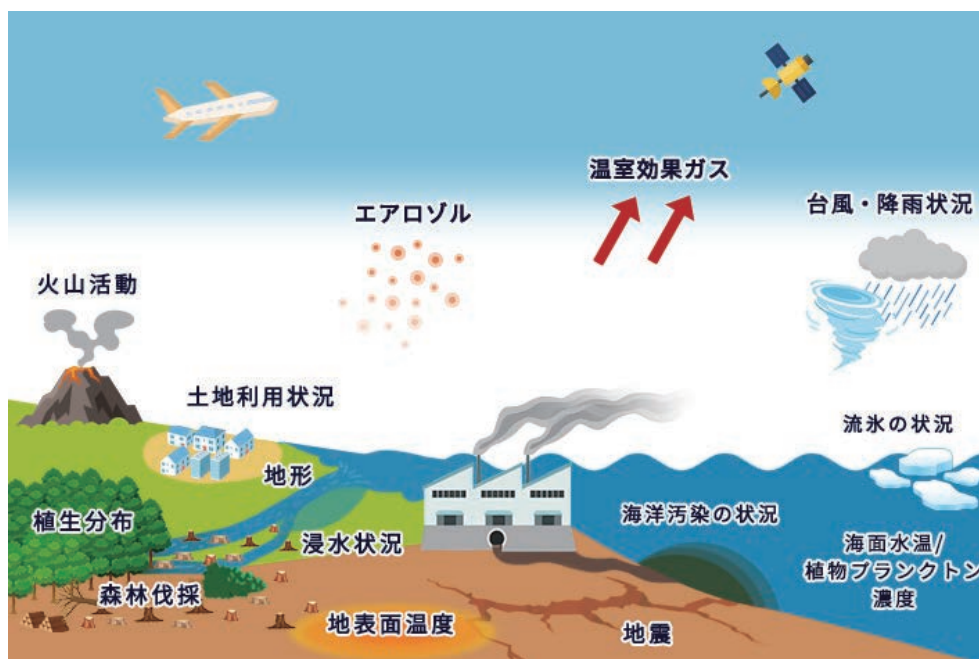


熱赤外画像
衛星/センサ: GCOM-C/SGLI-HRS
観測幅: 1400km

2. 地球観測衛星の種類

2-5 地球観測衛星データからわかること

JAXAの地球観測衛星から得られるデータからわかる代表的な情報として以下が挙げられます。



●エアロゾル

黄砂やPM2.5などのエアロゾル予測や、地球温暖化予測モデルの精度向上に活用されています。

●温室効果ガス

大気中の温室効果ガスをグローバルに観測し、温室効果気体の動態把握や人為起源の二酸化炭素の排出量の推定に活用されています。

●台風・降雨の状況

降雨の強さ、台風の様子、降雨をもたらす大気中の水蒸気量の分布などの気象関連の情報提供や地球規模の気候変動の解明に利用されています。

●海洋汚染の状況

原油流出事故等による海洋汚染の分布状況を知ることができます。

●流水の状況

流水の分布や動きの様子を知ることができます。

●海面温度及び植物プランクトン濃度

海域環境の監視や変動プロセスの解明、漁場の予測などに活用されています。

●地震

地殻・地盤変動等の異常検出や地震発生メカニズムの解明、災害時の被害状況把握へ利用されています。

●浸水状況

洪水や津波による浸水域を推定し、水害状況の把握や関連する防災活動へ活用されています。

●火山活動

活火山のモニタリングや噴火時の被害状況把握に活用されています。

●森林伐採

SARを用いることで、雲の多い熱帯でも、雲を透過して観測できることで森林伐採の検知に利用されています。

●土地利用状況

市街地、森林、農地などの土地の利用のされかたを知ることができます。

●植生分布

森林や草原等の分布やその変化、森林資源の情報を知ることができます。

●地形

複雑な地形、特徴的な山並み、遺跡などを確認することができます。

●地表面温度

地表面温度の季節や昼夜の変動を知ると共に生態系に関わる環境情報として活用されます。

3. 衛星データができるまで

3-1 衛星データの処理とプロダクト区分について

宇宙データシステム諮問委員会(Consultive Committee for Space Data System, CCSDS)では衛星と地上システム間の伝送方式やデータ構造が定義されており、JAXAの地球観測衛星もCCSDSに則っています。[CCSDSの情報はこちらです。](#)^{*1}

地上のアンテナで受信されたデータ(生データ)は、解凍やパケット分離などの処理を経て、必要な画像情報や観測情報などを抽出してレベル0(Level 0もしくはL0と記載されることもある)と呼ばれるプロダクトになります。レベル0プロダクトは、ラジオメトリック(放射量)補正や幾何補正、SAR(合成開口レーダ)データの場合はアジマス圧縮やレンジ圧縮などの処理を経て、レベル1と呼ばれるプロダクトになります。

その他にも地形にともなう画像のひずみを直すオルソ補正や、大気の影響を取り除く大気補正、斜面の影響を取り除く斜面補正、雑音除去やダイナミックレンジ圧縮処理など、レベル1以降に衛星データに適用される高次の処理は多岐に渡ります。

図1には多様な処理を記載していますが、衛星やセンサによって処理は異なり、処理プロダクトの定義も異なります。例えば、陸域観測技術衛星「だいち」(ALOS)の高性能可視近赤外放射計2型(AVNIR-2)においては、表1のようにレベル1B2まで補正したデータを標準プロダクトとして定義されています。一方で、気候変動観測衛星「しきさい」(GCOM-C)の多波長光学放射計(SGLI)では、表1の

ように物理量まで抽出したデータをレベル3の標準プロダクトとして定義されています。このように、衛星・ミッション毎にそれぞれの標準プロダクトおよびその処理の内容は異なりますので、衛星プロダクトを利用するには確認が必要です。

プロダクトの区分としては、標準プロダクトのほかに研究プロダクトがあります。概ね標準プロダクトが各衛星において、ミッション目的を達成するために必須であるのに対し、研究プロダクトは各ミッションにおいて、観測データの潜在能力を引き出し、新たな価値や利用の創出を目的としたプロダクトになります。こちらの定義も衛星・ミッションによって大きく異なりますので、利用の際にはご確認ください。[レベル2以降のプロダクトの例は、11ページ 4.もご参照ください。](#)

^{*1} https://stage.tksc.jaxa.jp/ccsds/docs/doc_blue.html



図1 衛星プロダクトができるまで

3. 衛星データができるまで

	ALOS/AVN IR-2	GCOM-C/SGLI	ALOS-2/PALSAR-2
L1	レベル0から切り出されたデータ (L1A)。 L1Aにラジオメトリック補正を行ったデータ (L1B1)。さらに幾何補正を行ったデータ (L1B2)。	レベル0から切り出されたデータ (L1A)。 ラジオメトリック補正、幾何補正、リサンプリング等を行ったデータ (L1B)。	レジン圧縮、アジマス圧縮された複素数データ (L1.1)。さらに地図投影された振幅のみのデータ (L1.5)。
L2		L1BやL2を主要な入力とし、各種物理量を算出したプロダクト	L1.1にオルソ補正を行ったデータ (L2.1)
L3		L2やL3を時間的・空間的に統計処理したプロダクト	LL1.5に画質補正を行ったデータ (L3.1)

表1 JAXA地球観測衛星データの処理レベル定義 (ALOS,GCOM-C,ALOS-2) 詳細は各衛星・ミッションのユーザハンドブック等をご参照下さい。

各衛星の詳しい処理レベルの定義などはこちらです。

・ALOSユーザハンドブック

chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/doc/alos_userhb_ja_a.pdf

・GCOM-Cデータ利用ハンドブック

chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://gportal.jaxa.jp/gpr/assets/mng_upload/GCOM-C/GCOM-C_SHIKISAI_Data_Users_Handbook_jp.pdf

・GPMデータ利用ハンドブック

chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.eorc.jaxa.jp/TRMM/documents/PR_algorithm_product_information/doc_pr_v8/GPM_data_util_handbook_V6_20181004_J.pdf

・ALOS-2プロダクトフォーマット

chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS-2/doc/fdata/PALSAR-2_xx_Format_CEOS_J_f.pdf

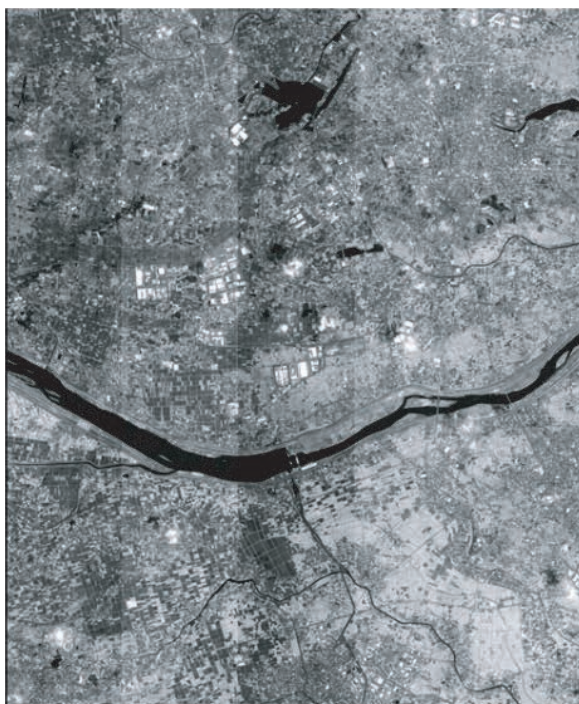
・GCOM-Wデータ利用ハンドブック

chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://gportal.jaxa.jp/gpr/assets/mng_upload/GCOM-W/GCOM-W1_SHIZUKU_Data_Users_Handbook_JP.pdf

3-2 衛星画像の前処理例

レベル1処理プロダクトの例として、図2はラジオメトリック補正を示したものです。陸域観測技術衛星「だいち」(ALOS) のパンクロマチック立体視センサ (PRISM) は、プッシュブルームスキャナと呼ばれる撮像方法をとっています。プッシュブルームスキャナでは、センサの並びと衛星 (プラットフォーム) の動きによって、それぞれ画像のX方向、Y方向が決定されます。このため、センサの各検出器の間で受光感度が一定でないと、図2左のように縞のようなノイズが発生します。ラジオメトリック補正では、検出器間の感度のばらつきを一定にすることで、縞状のノイズを除去します。図2右のラジオメトリック補正後は、縞状のノイズが無くなり、きれいな画像になっているのが分かります。

ALOS/PRISM L1Aプロダクト



ラジオメトリック補正
ALOS/PRISM L1B1プロダクト

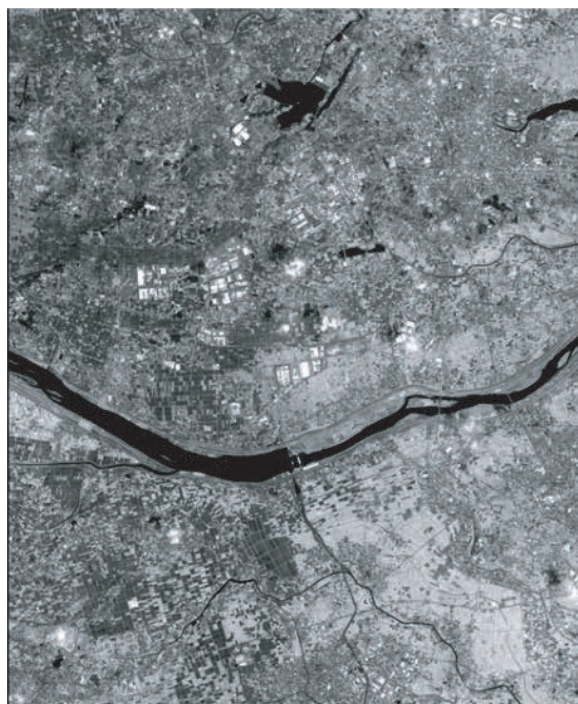


図2 ラジオメトリック補正の例 (ALOS/PRISM L1B1処理)

3. 衛星データができるまで

レベル2処理プロダクトの例として、図3は幾何補正を示したものです。ALOS/AVNIR-2を例に説明します。画像に含まれる幾何学的歪の要因はセンサの機構や、衛星（プラットフォーム）の軌道や姿勢、地球の自転など様々あります。衛星画像の幾何補正とは、これらの幾何学的歪のある画像からその歪を除去することであり、最終的な出力座標、例えば地図座標系上に投影することです。この際、出力座標系上に正方格子を設定し、その格子点に対応する画素値を入力画像から求めます。しかし、幾何補正後の各画素に対応する入力画像の座標は必ずしも整数にはならないために、周辺の画素値から内挿（resampling）処理が必要となります。内挿法にはいくつか種類がありますが、それぞれの手法によってメリット・デメリットがありますので、後段のプロダクトの利用目的に応じて選択する必要があります。

図4は陸域観測技術衛星2号「だいち2号」（ALOS-2）のフェーズドアレイ方式Lバンド合成開口レーダ（PALSAR-2）を例に、SAR画像の前処理について示したものです。SAR画像の各ピクセルには地表面からの情報が混在しており、レンジ圧縮やアジマス圧縮といった処理を施すことで、画像を再生していきます。地図投影されたL1.5データは、ALOS/PRISMの光学画像ではL1B2に相当するデータになります。このように、衛星の処理レベルは異なるので、使用したい衛星データのハンドブックなどを確認することは大事です。

幾何補正(地図投影)
ALOS/AVNIR-2 L1B2Gプロダクト

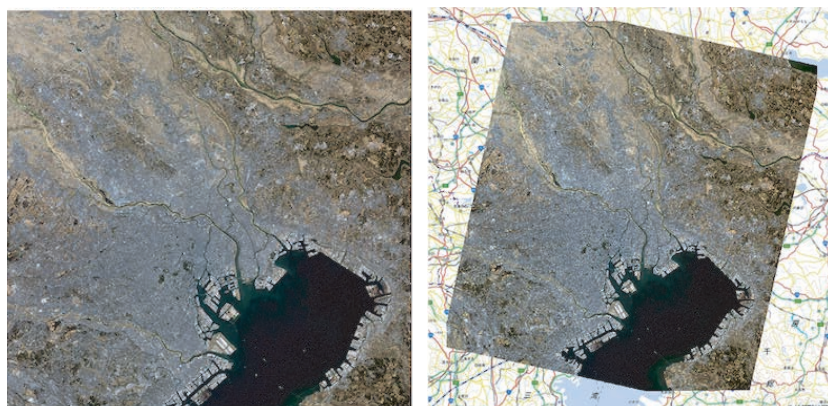


図3 幾何補正の例 (ALOS/AVNIR-2 L1B2G処理)

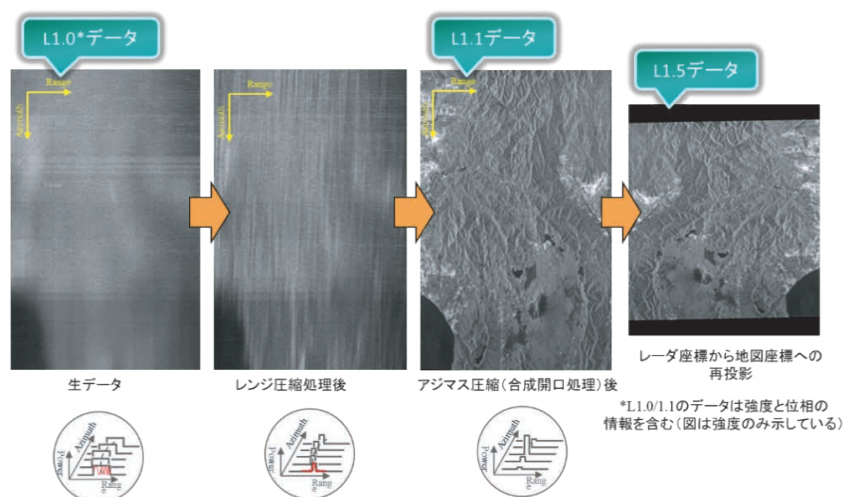


図4 SAR画像の再生処理例 (ALOS-2/PALSAR-2, 左から生データ、レンジ圧縮処理、アジマス圧縮処理、地図投影処理)

3-3 カラー合成

ALOS/AVNIR-2などの光学センサでは、図3で示したような、色の付いた画像を提供することができます。図5のようにALOS/AVNIR-2の観測波長のうち、赤・青・緑に対応するものを合成すると、普段目にするカラー画像を作ることができます。この画像はトゥルーカラー合成画像と呼ばれ、人の見る色に近い合成を行っています。カラー画像にすることで、衛星データの可視性や判読性を向上させることができます。

また、ALOS/AVNIR-2には赤・青・緑に対応する観測波長以外にも存在します。参考にALOS/AVNIR-2の観測波長を表2に示しています。図6に示すように、バンド4にあたる近赤外線を使ったカラー合成はフォールスカラー合成と呼ばれます。近赤外を赤色で示すことで植生を強調させた画像になります。このように、波長によって強調される対象物の違いを利用して、視覚的に分かりやすい画像を作ることが可能です。

3. 衛星データができるまで

	観測波長帯 (μm)	
バンド1	0.42～0.50	青
バンド2	0.52～0.60	緑
バンド3	0.61～0.69	赤
バンド4	0.76～0.89	近赤外

表2 ALOS/AVNIR-2の観測波長

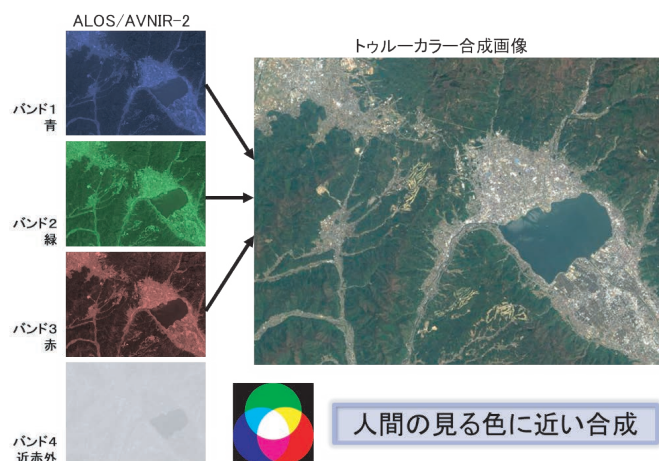


図5 トゥルーカラー (True color) 合成画像の例 (ALOS/AVNIR-2)

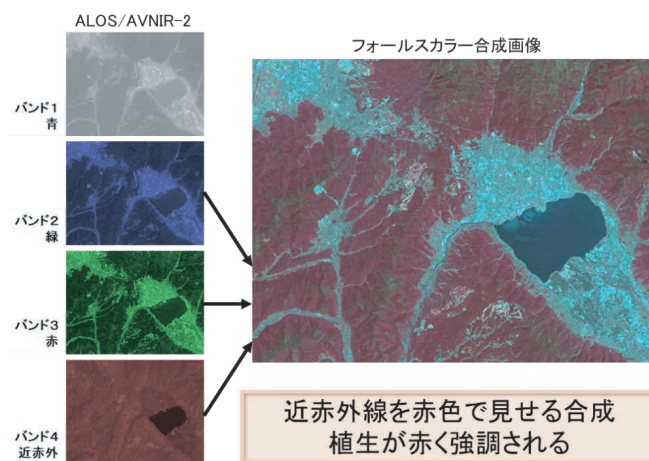


図6 フォールスカラー (False color) 合成画像の例 (ALOS/AVNIR-2)

3-4 パンシャープン処理

また、センサの特性を表す単位として分解能があります。センサの分解能が高いほど、地上の小さな物体を識別することが可能です。高分解能のモノクロ画像と、分解能の低いカラー画像を合成することで、疑似的に高分解能のカラー画像を作ることができます。この画像処理技術はパンシャープン処理と呼ばれています。

図7はパンシャープン処理の一例を示しています。AVNIR-2の

分解能は10mですが、分解能2.5mのPRISMと合わせることで、分解能2.5mのカラー画像を作ることができます。高分解能のカラー画像を作ることができれば、より判読性を向上させることができます。このような処理はラジオメトリック補正や幾何補正などが正確に行われていることが重要です。



図7 パンシャープン画像の例(ALOS/PRISM & ALOS/AVNIR-2)

4.物理量プロダクトの紹介

地球観測衛星は、単純なRGB画像だけでなく様々な地球物理量を観測しています。目的とする物理量に応じて様々なアルゴリズムが存在し、それらに合わせて観測する波長や計測手法も

異なります。ここではJAXAが提供している代表的な地球物理量プロダクトと、そのアルゴリズムについて簡単に紹介します。

4-1 地球観測衛星によるリモートセンシング

【作り方】

肉眼で見える色合いに近いカラー画像プロダクトを表します。赤色、緑色、青色の波長域で撮像された3枚の画像を合成することにより作成可能です。直感的に理解しやすいため、様々なシーンで活用されています。

【代表的な衛星】

ALOS, ALOS-3, GCOM-C, GOSAT, GOSAT-2

参考:[GCOM-C LTOA ATBD](https://gcom-c.ltoa.atbd)

chrome-extension://efaidnbmninnibpcjpcglclefindmkaj/https://suzaku.eorc.jaxa.jp/GCOM_C/data/ATBD/ver1/V1ATBD_G2ABC_geo_Takaku_20200908.pdf



図1 True Color RGB 合成画像（2018年1月23日/バハマ諸島/GCOM-C）

4-2 正規化植生指数 (NDVI)

【作り方】

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) は、植生の被覆や活性度合いを表すプロダクトです。一般に植物の葉は赤色や青色を吸収し、緑色や近赤外線の波長域の光をよく反射します(図2)。そのため以下の式でNDVIを計算することにより、植物

の分布を調べることが可能です(一般にIRは近赤外、Rは可視域の赤で観測された輝度を用いる)。

【代表的な衛星】GCOM-C

参考:[GCOM-C VGI ATBD](https://gcom-c.vgi.atbd)

chrome-extension://efaidnbmninnibpcjpcglclefindmkaj/https://suzaku.eorc.jaxa.jp/GCOM_C/data/ATBD/ver1/ATBD_T2A_VGI_JAXA_v1.pdf

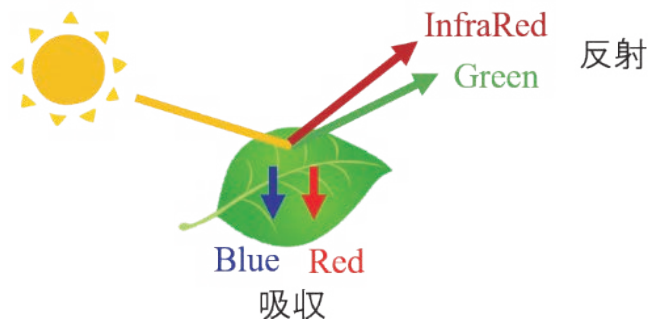


図2 波長域ごとのリモートセンシングの仕組み

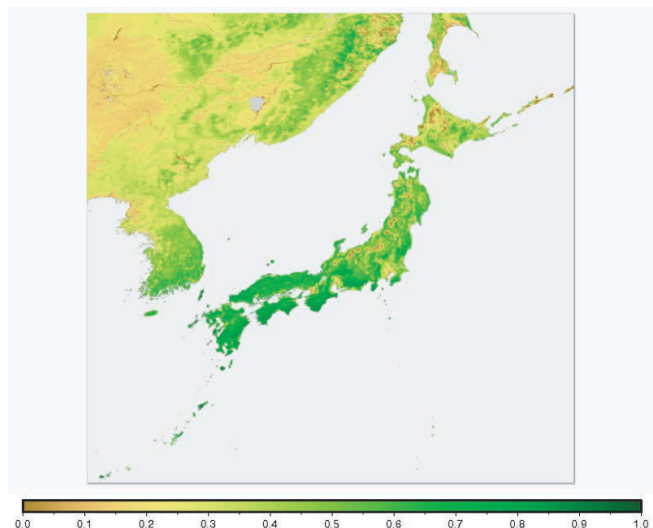


図3 NDVI (2020年4月日本域/GCOM-C)

4.物理量プロダクトの紹介

4-3 エアロゾル光学的厚さ

【作り方】

大気中に存在するエアロゾル(微粒子)の光学的厚さを表すプロダクトです。基本的には衛星観測値から地表面や海面反射成分を差し引いた後の大気による散乱成分から推定することが可能です。また一般に近紫外線域や偏光観測を用いることで地表面の反射成分の寄与が小さくなり精度良くエアロゾル成分を推定することができます。砂漠等の土壌粒子が舞い上がった場合や都市域や森林火災が発生した地域等で高い値となります。

【代表的な衛星】GCOM-C

参考:[GCOM-C ARNP ATBD](#)

chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://suzaku.eorc.jaxa.jp/GCOM_C/data/ATBD/ver2/V2ATBD_A3AB_ARNP_Yoshida.pdf

[GCOM-C ARPL ATBD](#)

chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://suzaku.eorc.jaxa.jp/GCOM_C/data/ATBD/ver2/V2ATBD_A4AB_ARPL_Mukai.pdf

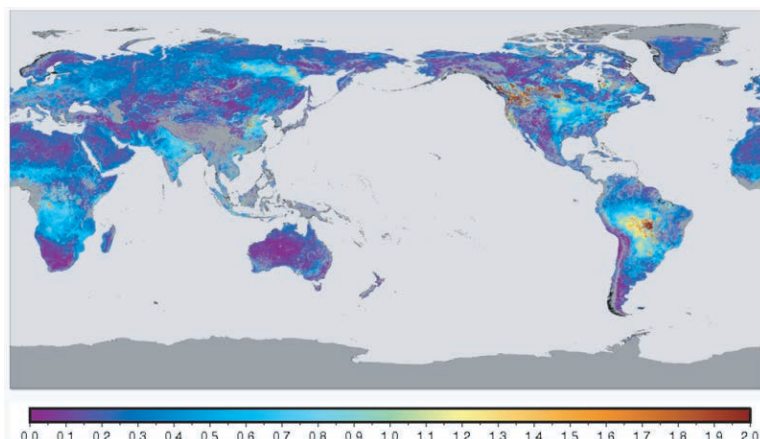


図4 エアロゾル光学的厚さ (2020年9月全球/GCOM-C)

4-4 クロロフィルa 濃度

【作り方】

海表層における植物プランクトンに含まれるクロロフィルa(光合成に必要な色素)の濃度を表すプロダクトです。クロロフィルaに特有の青と赤の光吸収の違いを利用し、可視光域の波長を組み合わせることで推定することが可能です。漁場探査や海洋水産資源の分布、海域における炭素循環の把握等に使われています。

【代表的な衛星】GCOM-C

参考:[GCOM-C CHLA ATBD](#)

chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://suzaku.eorc.jaxa.jp/GCOM_C/data/ATBD/ver2/V2ATBD_O3AB_Chla_Murakami.pdf

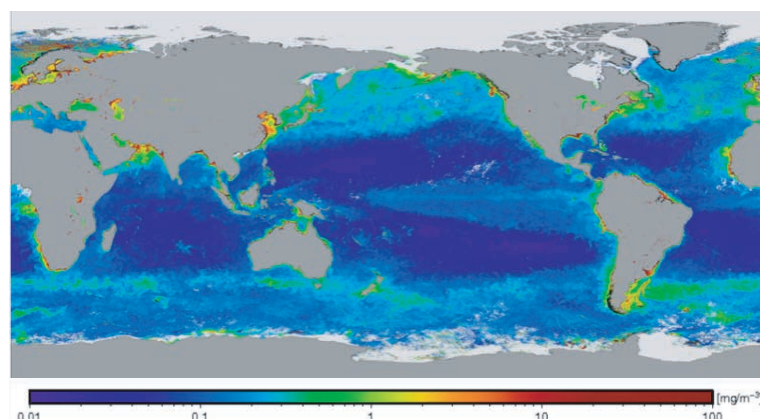


図5 クロロフィルa 濃度 (2021年3月全球/GCOM-C)

4-5 積雪・海水分布

【作り方】

積雪及び海水の分布を表すプロダクトです。雪や氷のスペクトルの特徴を元に、様々な波長域(特に可視光、赤外線)を用いて積雪や海水の分布を検出します。また、氷と海の放射率の違いをマイクロ波で観測し、海水密度度(海面を覆う海氷面積の割合)を算出することもできます。地球温暖化による海氷面積変化のモニタリングや北極海航路の決定等に使われています。

【代表的な衛星】GCOM-C, GCOM-W

参考:[GCOM-C SICE ATBD](#)

chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://suzaku.eorc.jaxa.jp/GCOM_C/data/ATBD/ver2/V2ATBD_C1C2_stamnes_r1.pdf

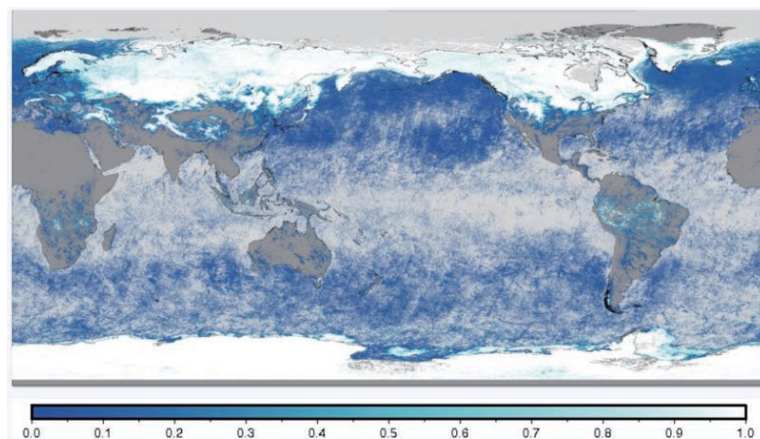


図6 積雪・海水分布 (2020年2月全球/GCOM-C)

4.物理量プロダクトの紹介

4-6 海面水温 (SST)

【作り方】

SST (Sea Surface Temperature) は、海面の温度を表すプロダクトです。一般に物体はその温度に対応して電磁波を放射することが知られています。海表面から放射される熱赤外線やマイクロ波を捉えることにより、海面の温度を推定することが可能です。漁場探査やエルニーニョ/ラニーニャ現象、その他様々な気象現象の研究に使われています。

【代表的な衛星】GCOM-C, GCOM-W

参考: [GCOM-C SST ATBD](#)

chrome-extension://efaidnbmnnnibpcjpcglclefindmkaj/https://suzaku.eorc.jaxa.jp/GCOM_C/data/ATBD/ver2/V2ATBD_O1AB_SST_Kurihara_r1.pdf

[GCOM-W L1L2 ATBD](#)

chrome-extension://efaidnbmnnnibpcjpcglclefindmkaj/https://suzaku.eorc.jaxa.jp/GCOM_W/data/doc/NDX-120015A.pdf

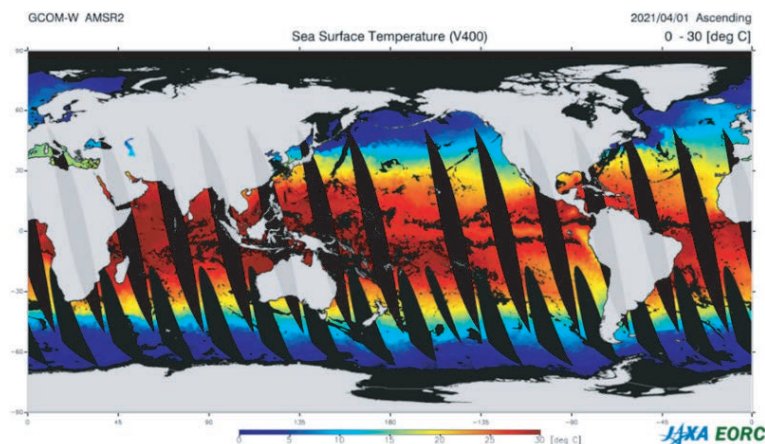


図7 SST (2021年4月1日全球/GCOM-W)

4-7 降水量

【作り方】

降水量の2次元分布や3次元分布を格納したプロダクトです。一般に雨粒はマイクロ波の波長域に感度があります。衛星に搭載されたセンサを用いてマイクロ波の強度を捉えることにより降水量を推定することが可能です。また、降雨レーダを用いて衛星から電波を発射し、雨粒や雪粒子からの反射強度や返ってくるまでの時間を調べることで降水強度の3次元分布を把握することも可能です。

【代表的な衛星】ALOS, ALOS-2, ALOS-3

参考: [GPM DPR L2 ATBD](#)

chrome-extension://efaidnbmnnnibpcjpcglclefindmkaj/https://www.eorc.jaxa.jp/GPM/doc/algorithm/ATBD_DPR_201811_with_Appendix3b.pdf

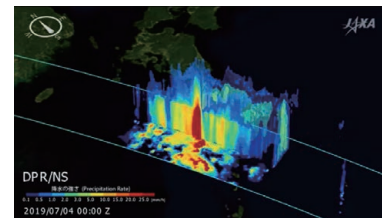


図9 降水量の3次元分布
(2019年7月4日九州地方/GPM)

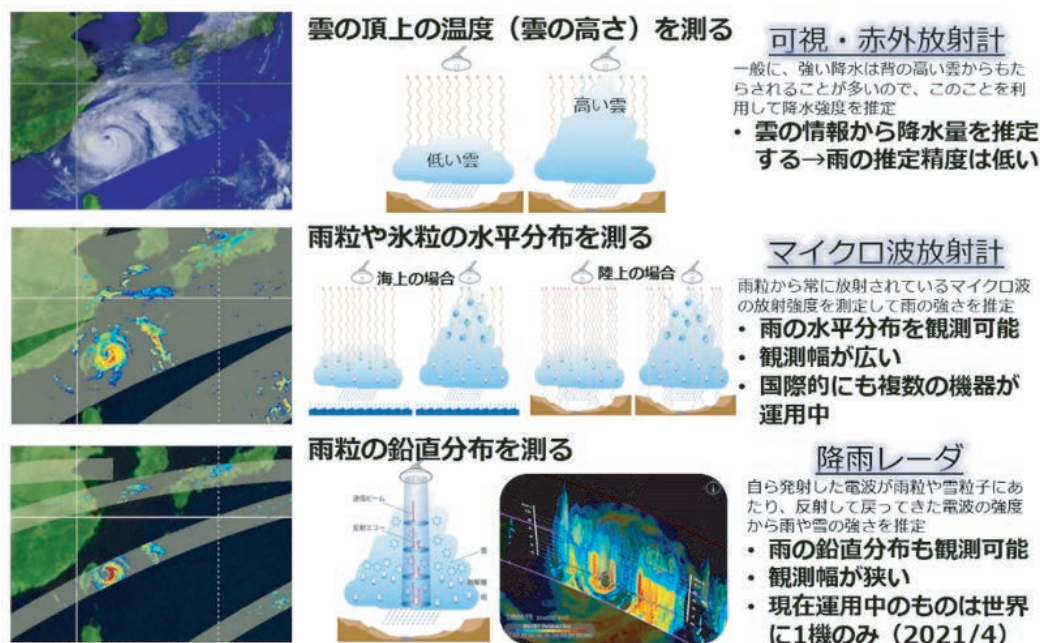


図8 衛星による降水量の観測手法

4.物理量プロダクトの紹介

4-8 土地利用土地被覆図 (LULC)

【作り方】

LULC (Land Use and Land Cover) は、土地利用の状況や土地被覆分類を表すプロダクトです。様々な波長域の光を観測することにより、地表面の被覆の違いを分類することが可能となっています。農業、防災、都市域の把握や自然環境のモニタリングなど様々なアプリケーションで活用されています。

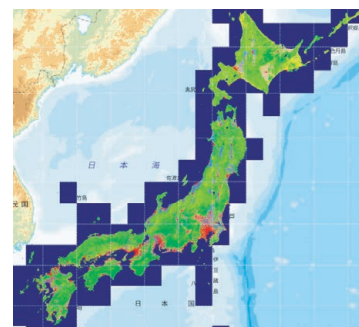
【代表的な衛星】ALOS, ALOS-2, ALOS-3

参考: [ALOS_HRLULC](https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/jp/dataset/lulc_j.htm)

https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/jp/dataset/lulc_j.htm

図 10 10 m 解像度 LULC Ver.21.03

(日本域 / ALOS-2, Sentinel-2, Landsat-8)



4-9 全球高精度デジタル3D地図 (AW3D)

【作り方】

AW3D (ALOS World 3D) は、世界最高水準の2.5m/5m解像度で世界中の陸地の起伏を表現した3D地図プロダクトです。ALOSの3D立体視に特化したセンサで撮像された画像を用いて推定しています。地図の整備や自然災害の被害予測、水資源の調査など、様々な用途に活用することが出来るのが特長です。

【代表的な衛星】ALOS

参考: [ALOS_AW3D](https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/aw3d/index.htm)

<https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/aw3d/index.htm>



図 11 AW3D (エベレスト)

4-10 温室効果ガス濃度

【作り方】

二酸化炭素やメタン、一酸化炭素といった温室効果ガスのカラム平均濃度を表すプロダクトです。一般に気体分子は特定の波長域で吸収帯を持ちます。衛星に搭載されたセンサを用いて吸収スペクトルを測定することにより、各気体が大気中にどれだけ存在するか推定することが可能です。地球温暖化を予測する上で様々な研究に使われています。

【代表的な衛星】GOSAT, GOSAT-2

参考: [GOSAT-2_PartialColumnGHGs](https://www.eorc.jaxa.jp/GOSAT/GPGC/guide.html)

<https://www.eorc.jaxa.jp/GOSAT/GPGC/guide.html>

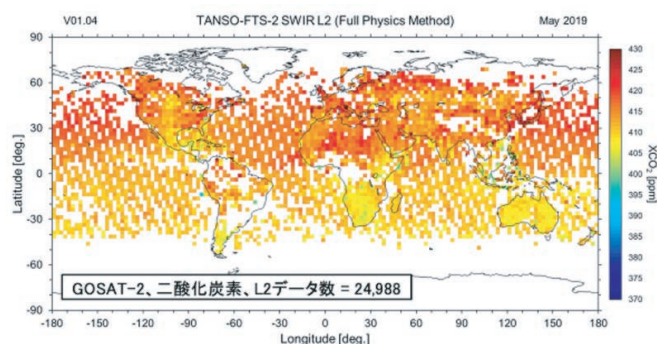


図 12 二酸化炭素濃度 (2019年5月全球 / GOSAT-2)

4-11 各衛星のプロダクト紹介ページ

JAXA地球観測研究センター (EORC: Earth Observation Research Center) により、運営・公開されている各衛星の紹介ページを以下に示します。

[GCOM-C](#) *1

[GCOM-W](#) *2

[GPM](#) *3

[ALOS](#) *4

[GOSAT](#) *5

- *1 https://suzaku.eorc.jaxa.jp/GCOM_C/data/product_std_j.html
- *2 https://www.eorc.jaxa.jp/AMSR/datacatalog/index_ja.html#standard
- *3 <https://www.eorc.jaxa.jp/GPM/index.html>
- *4 https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/jp/index_j.htm
- *5 https://www.eorc.jaxa.jp/GOSAT/product_j.html

5. データ解析の流れ

5-1 地球観測衛星データについて知る

データ解析を始めるにあたり、「[地球観測衛星が何を、どのように観測しているのか](#)」(2ページ 1-3参照)、「[地球観測衛星データがどのような事に使われているのか](#)*1」、を知ることで、

より具体的な解析工程を立てやすくなったり、解析結果の解釈に役立ったりします。

*1 <https://earth.jaxa.jp/ja/application/index.html>

5-2 解析の目的を整理する

衛星データ解析の一步目として、衛星データを解析する事で取得したい情報の要素を整理します。要素としては以下の様なものが挙げられます。

対象範囲

衛星データ解析の一步目として、衛星データを解析する事で取得したい情報の要素を整理します。要素としては以下の様なものが挙げられます。

必要な衛星データの空間分解能

捉えたい現象や情報の空間スケールを踏まえて必要となる空間分解能(地上分解能)。空間分解能が高いほど空間的に詳細な情報が得られますが、その分データサイズが大きくなり、解析にかかる時間が増えることもあります。また、高分解能の衛星データは有償のものが多くなります。

対象期間

最近の情報を知りたいのか、過去のある時点の情報を知りたいのか、過去から現在までの変化や平均値を知りたいのか、など。衛星データが存在する期間よりも過去の情報を取得する必要がある場合は、地上での観測など他の情報源を当てる必要も出てきます。

必要な衛星データの時間分解能

捉えたい現象や情報の時間スケールを踏まえて必要となる時間分解能(観測頻度)。時間分解能が高いほど詳細な時間変動の情報が得られ、また光学観測であれば観測対象が雲に覆われていないデータを得られる確率が高くなりますが、対象期間の長さによっては取りあつかうデータ量が増え、解析にかかる時間が増えることがあります。

知りたい物理量・情報

地表面温度、土壌水分量、海面水温、降水量といった物理量や、大雨による洪水範囲、森林が減少した面積、都市部での地盤沈下、都市が拡大した面積といった情報。

5-3 衛星データを探す、解析手段を決める

次に、2.で整理した情報を元に解析する衛星データを探します。衛星データは主に地球観測衛星を運用している機関がデータ検索システムなどを通して配布しています。JAXAの地球観測衛星のデータであれば[G-Portal](#)*2からデータの検索、ダウンロードすることができます。

また、探した衛星データに合わせて、解析の手段の選定も必

要になります。一般的には、解析するためのプログラムを自分でプログラミングするか、グラフィカルユーザインターフェース(GUI)で操作できるソフトウェア(アプリケーション)などの解析ツールを利用することになります。[こうした解析ツール](#)(21ページ 8.参照)は幅広いデータに対応しているものから、特定の衛星データに特化したものなど様々なものが公開されています。

*2 <https://gportal.jaxa.jp/gpr/>

5-4 衛星データを取得する

目的に合った衛星データが見つければ、データ検索システムからデータをダウンロードします。G-Portalを始めとして、データ検索システムからデータをダウンロードする際にはアカウント

の作成が必要になること多くあります。また、データ検索システムによっては、無償のデータでも、一度注文を出してダウンロードの準備が完了するまで時間がかかるものもあります。

5. データ解析の流れ

5-5 衛星データを読み込む

データのダウンロードが完了したら、次の自作のプログラムや解析ツールを使ってデータを読み込みます。プログラムを自作す

る場合は、[衛星データのフォーマット](#) (18ページ 6.参照) を扱うための既存のプログラム(ライブラリ)を利用することが一般的です。

5-6 衛星データの座標系の変換

三次元である地球の表層を観測している衛星データの多くは、地図投影法を用いることで位置情報を持った二次元の画像として表示されます。異なる地球観測衛星のデータや地上観測データ、地理情報シス

テム(GIS)のデータと比較をするような解析の場合は、緯度経度で表す位置情報(地理座標系)の基準となる測地系や、データの位置情報(投影座標系)を設定する地図投影法をデータ間で合わせる必要があります。

測地系

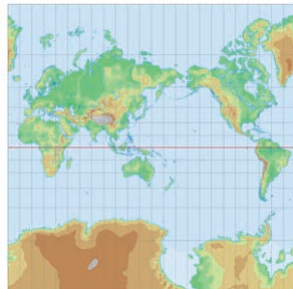
測地系とは、位置や高さの基準面となる地球楕円体(ex. GRS80楕円体)と、緯度経度の原点と原方位を定めた座標系(ex. ITRF94)からなる系(システム)のことを示します。代表的な測地系として日本測地系2011(JGD2011)やWorld Geodetic System 1984(WGS84)などがあります。

地図投影法

回転楕円体面や球面上の図形を平面上に移す方法で、衛星データや解析結果の表示、またGISでは以下のような投影法が使われます。これらの座標系の変換には、解析ツールや地理データを扱うライブラリ(ex. GDAL)が良く使用されます。

メルカトル(Mercator)/正角円筒図法

地球を正軸法で円筒に投影した図法で、2地点間の角度が正しく表現されます。高緯度は歪みにより実際に面積よりも大きく表現されます。



[出典: 地図投影法学習のための地図画像素材集](#)

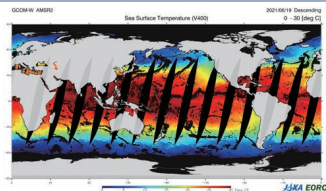
https://user.numazu-ct.ac.jp/~tsato/tsato/graphics/map_projection/

ユニバーサル横メルカトル(Universal Transverse Mercator: UTM) 図法

西経180°から東経180°までを6°幅で分割した各経度帯における中央経度を基準子午線として、各経度帯の南緯80°から北緯84°までを横軸法で円筒に投影し、極域をユニバーサル極心平射図法で投影した図法です。

正距円筒図法

標準緯線上の距離が正しく表現されるように地球を円筒に投影した図法です。緯線と経線が正方形網(直角かつ等間隔)に表現されます。

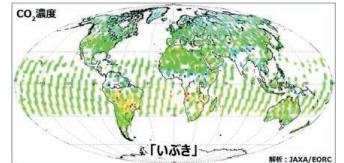


AMSR2海面水温

https://suzaku.eorc.jaxa.jp/GCOM_W/JASMES_daily/data/AMSR2/SST/202106/19/AM2_20210619_SST_ALL_D_EQR.png

モルワイデ図法

地図上の面積比が正しく表現される正積図法。緯線は水平な直線になり、経線は標準緯線が垂直な直線でそれ以外は弧を描く曲線になります。

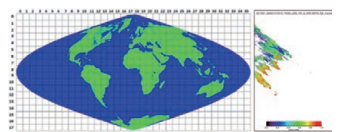


[GOSAT全球二酸化炭素濃度分布](#)

<https://earth.jaxa.jp/ja/earthview/2020/02/03/1626/index.html>

サンソン/正弦曲線(sinusoidal) 図法

地図上の面積比が正しく表現される正積図法。緯線は水平な直線になり、経線は正弦曲線で表現されます。



[GCOM-C植生指標\(NDVI\)](#)

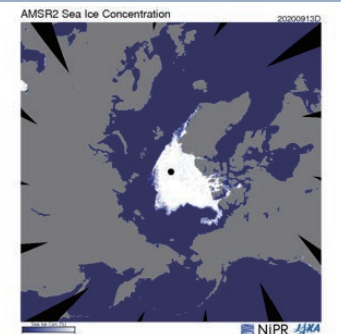
https://suzaku.eorc.jaxa.jp/GCOM_C/data/product_std_j.html

極心平射(Polar stereographic) 図法

地球の極に接する平面を置き、平面に接していない側の極に置いた視点と地球上の点を直線で結び、平面と交わる点に投影する図法で、2地点間の角度が正しく表現される。AMSR2北極海氷分布。

[AMSR2北極海氷分布](#)

https://www.jaxa.jp/press/2020/09/20200923-2_j.html



5. データ解析の流れ

5-7 目的に合わせた解析処理を行う

データを読み込み、必要な座標変換などの処理ができれば、プログラミングや解析ツールを用いて目的に合わせた処理を行います。以下は解析処理の一例です。

画像処理

主に物理量などに変換されていない画像データから情報を抽出するために行います。主な処理として画像の強調（濃度変換、カラー合成、ヒストグラム変換）や、様々な特徴を抽出するための画像間演算（スペクトル特徴）、フィルタリング（幾何学的特徴）、テクスチャ解析（テクスチャ特徴）などがあります。

時間解析

物理量などの時間方向の特徴（ex. 平均値、最大値、最小値、平均値からの差など）を取得するために、異なる時期の複数のデータを用いて解析します。物理量に変換されていない光学、レーダ画像でも異なる時期の画像データを用いてカラー合成することで、地表面の変化（ex. 森林の伐採、洪水の範囲など）を捉えることができます。

標高・変動情報の解析

ステレオ撮像データ（立体視画像）による数値標高モデル（DEM）の作成や、合成開口レーダ（SAR）データの干渉SAR（InSAR）解析による標高計測・地表面の変動計測など、特定の観測手法により高さ方向に関する情報を取得することができます。

分類

主に画像データ内の対象物を区別するために、ピクセル単位や似た特徴を持つピクセルの集まり毎に、その特徴合わせた分類クラスをつける処理です。分類には様々な手法（ex. クラスタリング、マルチレベルスライス法、ディシジョンツリー法、最短距離分類法、最尤分類法、エキスパートシステムの利用、ニューラルネットワークの利用など）があり、衛星データ/教師データや分類クラスに応じて適切な手法を選定することが重要です。

空間解析

画像処理で行うような特徴抽出処理以外にも、物理量や分類結果などの空間方向の特徴（ex. 特定の領域内の平均値、特定の領域内の各分類クラス割合など）を取得するために、GISデータなどを利用して解析します。

5-8 結果の出力

画像データやグラフ等の解析処理の結果を、画像・テキストなどの形式で出力します。[こちらのページ](#)^{*1}からは様々な衛星データの解析結果と解説が掲載されています。また、G-Portal

で配布されている標準プロダクトなどをもとに、解析処理を行い作成したデータの一部は研究プロダクトとして[EOIRC研究グループのwebページ](#)^{*2}などからも配布されています。

^{*1} <https://earth.jaxa.jp/ja/earthview/index.html>
^{*2} <https://earth.jaxa.jp/ja/data/index.html>

5-9 参考情報

衛星データの解析には、衛星データを扱うのに十分なメモリや計算能力を備えた計算機環境（ex. パソコン、ワークステーションやクラウドサーバなど）が必要になりますが、3.～7.の処理を

1つのプラットフォームで一貫して行える[ツールやサービス](#)（21ページ 8.参照）も提供されています。

6. ファイル形式の紹介

地球観測衛星の観測データは様々なファイル形式（フォーマット）で提供されています。ここでは、地球観測衛星データに使用されている代表的なファイル形式をご紹介します。

ファイル形式名	概 要	ファイル拡張子	対応衛星/センサ例
GeoTIFF	画像ファイル形式であるTIFF (Tagged Image File Format) に地理情報 (ジオリファレンスデータ) を付加したファイル形式です。位置情報を持つ画像ファイルであるため、GISソフトウェアで扱うことができます。また、一般的な画像ビューア等で開く事も可能です。	.tiff .tif	• ALOS/AVNIR-2, PRISM, PALSAR • ALOS-2/PALSAR-2 • CIRC • SLATS/SHIROP
COG	Cloud Optimized GeoTIFFの略で、クラウド環境での画像データ取り扱いを効率化させるために、ファイルの必要な部分のみにアクセスするような機能を持っているファイル形式です。GeoTIFFと同様の環境で扱うことができます。	.tiff .tif	
NetCDF	Network Common Data Formの略で、配列指向の科学データを統合的に扱うことができる自己記述型のファイル形式です。 フリーで提供されるライブラリ *1を用いて取り扱うことができます。また、ツールを用いてデータを閲覧することもできます。 *1 https://www.unidata.ucar.edu/software/netcdf/	.nc	• GCOM-C/SGLI
HDF	Hierarchical Data Formatの略で、多様なコンピュータ環境で階層的なデータを取り扱うことができる自己記述型のファイル形式です。 フリーで提供されるライブラリ *2を用いて取り扱うことができます。また、ツールを用いてデータを閲覧することもできます。HDF4とHDF5の二つの異なるバージョンがあり、互いに互換性はありません。 *2 https://www.hdfgroup.org/	.hdf .h4 .hdf4 .he2 .h5 .hdf5 .he5	• MOS-1, MOS-1b /MSR, VTIR • ADEOS/OCTS • ADEOS-II/AMSR, GLI • Aqua/AMSR-E • TRMM/PR • GCOM-C/SGLI • GCOM-W/AMSR2 • GPM/DPR • GSMaP
CEOS準拠フォーマット	CEOS *3 (Committee on Earth Observation Satellites:地球観測衛星委員会) で標準化されたファイル形式に準拠して作成されています。バンド毎にファイルが分割される「CEOS-BSQ」と、複数のバンドが多重化された「CEOS-BIL」があります。ファイル構成は衛星データ毎に設定されていて、詳細はプロダクトフォーマット説明書等に記載されています。 *3 https://ceos.org/	(データ作成機関により設定)	• MOS-1, MOS-1b/MESSR, MSR, VTIR • JERS-1/OPS, SAR • ADEOS/AVNIR • ALOS/AVNIR-2, PRISM, PALSAR • ALOS-2/PALSAR-2

7. データDLサイトの紹介

主なデータダウンロードサイト

JAXA運営サイト

G-Portal(地球観測衛星データ提供システム) *1

JAXAの地球観測衛星によって得られたデータの検索と提供を行っているサイト

ファイル形式: HDF形式 など

対象衛星 : GCOM-C, GCOM-W, Aqua, GPM など

*1 <https://gportal.jaxa.jp/gpr/index/index>



JASMES (JAXA Satellite Monitoring for Environmental Studies) *2

MODISやSGLIのデータについてWeb画面上で表示が可能なサイト

ファイル形式: netCDF形式, バイナリ形式 など

対象衛星 : GCOM-C, GCOM-W

*2 https://kuroshio.eorc.jaxa.jp/JASMES/index_j.html



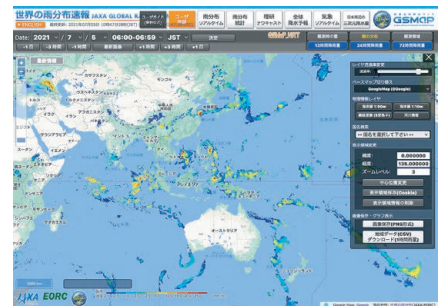
GSMaP(衛星全球降水マップ) *3

様々な衛星データを用いて作成した世界の雨マップを提供するサイト

ファイル形式: binary, csv形式

対象衛星 : GPM主衛星+降水を観測する衛星や気象衛星 など

*3 https://sharaku.eorc.jaxa.jp/GSMaP/index_j.htm



7-1 G-Portal

JAXAの地球観測衛星によって得られたデータの検索(衛星／センサ検索、物理量検索)と提供を行っているサイトです。

<主要コンテンツ>

- 物理量から検索・・・降水・海色・植生など、物理量単位でデータを絞り込むことが可能
- 衛星からの検索・・・衛星・センサ・レベルなど、衛星単位でデータを絞り込むことが可能
- プロダクト・運用情報・・・衛星ごとのプロダクトの説明や、衛星運用に関する情報を掲載
- ツール・ドキュメント・・・衛星ごとに、ハンドブックや解析ツールなどを掲載

こんな方におすすめ!

- ・JAXAの地球観測衛星データを物理量や衛星／センサの情報から探したい人
- ・FTP等でデータをダウンロードしたい方

7. データDLサイトの紹介

7-2 JASMES

MODIS (NASAのTerra衛星およびAqua衛星に搭載のセンサ) やSGLI (JAXAの衛星GCOM-Cに搭載のセンサ) 等のデータをダウンロードできます。*1マップ表示や時系列の変化を見やすいモニタ表示をメインとしており、地球の気候変動に関わる諸物理量の経年変動、リアルタイムモニタリングに焦点をあてています。

*1 FTPサイトから地図投影済みのデータがダウンロード可能ですが、現在対象は日本域や全球限られた地域となっています。

こんな方におすすめ!

- ・MODISやSGLI等のデータを使用したい方
- ・観測データをダウンロードせず、web上で画像として見たい方

<主要コンテンツ>

- JASMES Map Monitor・・・地球の気候形成に関わる諸物理量の季節・経年変動と現在の状況に関する情報を提供
- SGLI標準データモニタ・・・気候変動観測衛星「しきさい」(GCOM-C) 搭載光学センサ「多波長光学放射計」(SGLI) の日本周辺域の標準データを、SGLI標準プロダクト (HDF5形式) をJASMESグリッド上にリサンプリングしたnetCDF4形式のデータに変換して提供
- SGLI準リアルタイムモニタ・・・気候変動観測衛星「しきさい」搭載光学センサ SGLIの、日本周辺域の準リアル観測データを、等緯度経度に地図投影し可視化して公開
- 流れ藻モニタ・・・気候変動観測衛星「しきさい」搭載光学センサ SGLIが観測した流れ藻指数 (FAI: Floating Algae Index) と大気上端輝度の3バンドRGB画像を公開

7-3 GSMaP

衛星全球降水マップ“GSMaP”は、全球降水観測 (GPM) 計画の下、GPM主衛星に搭載された二周波降水レーダ (DPR) を中心に、複数の降水を観測する衛星や静止気象衛星を組み合わせて開発した世界の雨マップで、1時間ごとの世界の雨の様子を閲覧することができます。GSMaPの降水推定手法では、熱帯降雨観測衛星TRMMやGPM計画主衛星に搭載された衛星搭載降水観測レーダの情報が活用されていることが大きな特徴として挙げられます。具体的には、防災分野では地上観測データが不足している地域の洪水予警報システムへの適用、農業分野では干ばつモニタシステムへの適用、また気象情報サービス等にも活用されています。その他活用事例は[こちら](#)*2をご参照ください。

*2 chrome-extension://efaidnbmninnibpcjpcgicfindmkaj/https://www.eorc.jaxa.jp/GPM/doc/data_utilization/2019_jireishu_j.pdf

<主要コンテンツ>

- 雨分布リアルタイム・・・30分毎にリアルタイムの世界の雨分布を表示
- 世界の雨分布速報・・・4時間前までの、指定した日時の世界の雨分布を表示
- 世界の雨分布統計・・・過去20年の降水と比較した干ばつや持続的な多雨に関する指標も表示

こんな方におすすめ!

- ・世界の降水について興味がある方
- ・豪雨や干ばつのモニタリング等に興味がある方

このほかにもデータがダウンロードできるサイト等のリンク集を用意しております。[こちら](#)*3をご参照ください。

*3 <https://earth.jaxa.jp/ja/data/index.html>

8. 解析ツール/サイトの紹介

8-1 Web解析ツール / [Tellus](#) *1

Tellusの開発環境にアクセスするだけで解析が可能

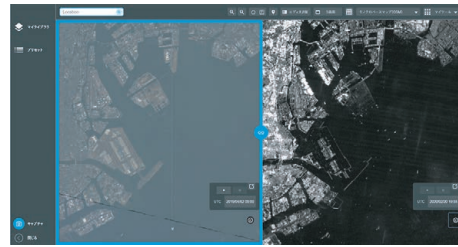
衛星や地上の様々なデータを搭載している日本発のデータプラットフォームで、経済産業省が主導しています。だいち、しきさいなどのJAXAの衛星データも利用できます。

(運営: さくらインターネット株式会社)

“自身で環境を用意しなくても、Tellusの開発環境にアクセスするだけで、PythonやR言語を利用し、衛星データや地上データを解析できます。Tellus搭載のデータを使った解析やアプリケーション開発を実現するため、開発環境を無料・期間限定で提供しています。データカタログやAPIリファレンス、利用事例など各種ドキュメントも豊富に用意しています。”

出典: [開発者の方へ | 日本発の衛星データプラットフォーム Tellus](#) <https://www.tellusxdp.com/ja/dev/>

*1 <https://www.tellusxdp.com/ja/dev/>



Tellus OSでの画像表示例

画像出典: [How to Use | 日本発の衛星データプラットフォーム Tellus](#)
https://www.tellusxdp.com/ja/howtouse/tellus_os/tellus_os_sar_opt.html

こんな方におすすめ!

- ・ソフトをインストールすることなく衛星画像を使える!
- ・複数の衛星画像を簡単に入手できる!
- ・衛星画像のAI解析ができる!

8-2 Web解析ツール / [Google Earth Engine](#) *2

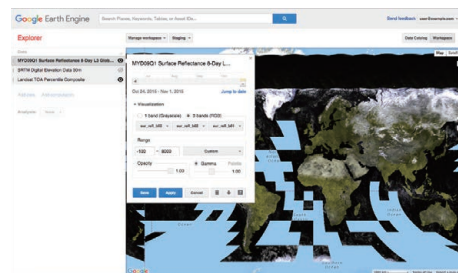
Google Earth Engineにアクセスするだけで解析が可能

衛星データと計算力で地球規模の分析を可能にする、オンラインクラウドプラットフォームです。だいちの観測データやGSMaPの全球降雨データ、しきさいのデータを利用できます。

“多くの科学者や非営利機関が、リモート センシング調査、伝染病流行の予測、天然資源の管理などでEarth Engineを利用しています。”

出典: [Google のクラウドを利用した地球規模の分析 | Google Earth](#) https://www.google.com/intl/ja_in/earth/education/tools/google-earth-engine/

*2 <https://earthengine.google.com/>



画像出典: [Platform | Google Earth Engine](#)

<https://earthengine.google.com/platform/>

こんな方におすすめ!

- ・自分のパソコンに解析環境を構築するのが大変
- ・地図投影されたデータをすぐに見たい

8-3 ローカル解析ツール / [QGIS](#) *3

Geotiffファイルを読み込み、地図投影が可能

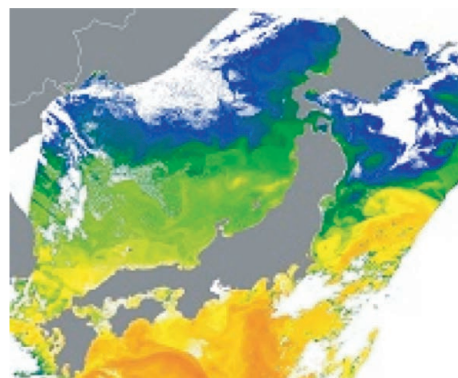
QGISは、オープンソースソフトウェアで、無料で使用することができる地理情報システム (GIS) です。

通常のTIFF (Tagged Image File Format: Aldus社及びMicrosoft社によって開発されました) にリモートセンシング用の情報を付加したフォーマットであるGeoTIFF画像を読み込み、地図投影することが可能です。様々な地図や衛星画像、ツールがプラグインで用意されており、ユーザが自由に利用することができます。

こんな方におすすめ!

- ・GeoTIFF画像を読み込みたい
- ・ダウンロードしたデータを地図に重ねて表示したい

*3 <https://ceos.org/>



QGISでの画像表示例

8. 解析ツール/サイトの紹介

8-4 ローカル解析ツール / [HDFView](#) *1

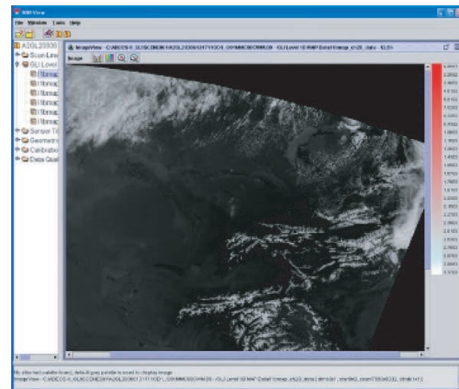
HDF形式のファイルを読み込み、表示が可能

HDFフォーマットの開発元であるNCSA (National Center for Supercomputing Applications) が配布している、HDFファイルを開覧するためのソフトウェアです。Javaで開発されているので、Macintosh、Windows、Linux など多くのOS上で実行可能です。

こんな方におすすめ!

- G-PortalでダウンロードしたHDF画像を表示したい

*1 <https://support.hdfgroup.org/downloads/>



HDFViewでの画像表示例

8-5 ローカル解析ツール / [EISEI](#) *2

衛星データのファイル形式などを意識せず簡単に閲覧できる無償のソフトウェア

YAC (日本宇宙少年団) が提供している、衛星画像教育用ソフトウェアです。無償で提供されています。

“さまざまな衛星画像を、そのファイル形式などを意識せずに簡単に閲覧できます。

指導者が付いて操作する場合は小学校中学年程度以上、生徒が単独で学習する場合は中学生程度以上から操作できます。衛星画像を初めて扱う大学生 (学部生程度) や一般の大人の方のための入門用ソフトとしても適しています。

*2 <https://www.yac-j.com/content/eisei-data/>

より発展的な内容の解析をするために、一般的なGISソフトや画像解析ソフトへの出力も可能です。”

こんな方におすすめ!

- 日本語でわかりやすいソフトウェアを使いたい
- 教育目的で使いたい

8-6 ローカル解析ツール / [Panoply](#) *3

NetCDF形式またはHDF形式のデータを閲覧するためのツール

NASAが提供している、netCDF形式、HDF形式、およびその他のデータセットのデータを参照することができるツールです。Mac、Windows、LinuxなどのOS上で実行可能です。使い方について、YouTubeに動画(英語のみ)が上がっています。

*3 <https://www.hdfgroup.org/>

こんな方におすすめ!

- netCDFやHDFデータを読み込みたい方

8-7 ローカル解析ツール / [SNAP](#) *4

地球観測データの画像処理、分析ソフト

ESAが提供している、地球観測衛星データの画像処理、分析ソフトウェアです。ギガピクセルの画像を高速に表示したり、高度な解析処理をすることが可能です。SAR画像に関する機能も充実しています。

*4 <https://step.esa.int/main/download/snap-download/>

こんな方におすすめ!

- サイズの大きな画像を扱いたい
- SAR画像を解析したい

上記で紹介しきれなかったツール(例: [G-Portal](#) *5)に掲載している衛星に特化したツール)もありますので、こちらもぜひご参照ください。

*5 <https://gportal.jaxa.jp/gpr/information/tool>

地球観測衛星の 基礎知識

本テキストの著作権は、特に明記された図版、画像等を除き、JAXA（宇宙航空研究開発機構）に帰属します。
引用する場合は、出典（JAXA「地球観測衛星の基礎知識」、ページ数等）を記載してください。
また、JAXA 以外の出典元が明記された図版、画像等の著作物を引用する場合は、当該著作物の著作権を確認のうえ、適切な出典表示をお願いします。
本テキストを公開 Web サイトへ転載したり、外部へ配布する場合や、内容を改変する場合には、事前に JAXA へお知らせください。

森林・林業分野における航空レーザ計測 積算ハンドブック

平成
26
年
9
月

一般社団法人
日本林野測量協会

平成26年9月
一般社団法人 日本林野測量協会



刊行にあたって

国土の3分の2を占める森林は、国土の保全、水源の涵養、地球温暖化防止、生物多様性の保全、木材等の林産物の供給等の多面的機能を有しています。

一方、2011年の東日本大震災や2012年の中央自動車道笹子トンネルの崩落事故の教訓を踏まえ、人命の保護や国民の財産及び公共施設に係る被害の最小化、迅速な復旧復興等が図られるよう安全・安心な国土・地域・経済社会の構築に向けた「国土強靱化」を推進することとされています。

また、東日本大震災に伴う福島第一原発の事故は、再生可能エネルギーの更なる需要を推し進めています。

このような状況の中、航空レーザ計測技術の森林・林業分野での利用のニーズは飛躍的に拡大し、そのデータ解析技術の進歩が、治山や路網計画に対する詳細な微地形図（地盤情報）の作成並びに木質バイオマス発電計画に対する木材資源（材積）等の高精度のボリューム把握に役立つ事が実証され、十分に利用可能な領域に入ってきました。

しかしながら、上記の目的のためには、より高密度（4点/m²）の航空レーザ計測が要求されますが、その利活用に際して手助けとなるものがありませんでした。

本書は、こうした背景を踏まえ、国はもとより都道府県や教育・研究機関等で幅広く利活用して頂く様に解説や写真画像の視覚的な資料を用いながら、出来るだけ分かりやすく作成しました。

本書が、森林分野における航空レーザ計測業務のご発注の際の一助となることを願ってやみません。

一般社団法人 日本林野測量協会 会長 瀬川 信也

刊行に寄せて

森林・林業分野における航空レーザ計測は、従来の空中写真と比較して、より広範囲で高密度の三次元数値データを取得することができ、詳細な地形や植生の解析等が行えることから、一部の都道府県では、森林資源の把握や治山事業の計画策定等に積極的に活用している事例も聞くところです。

一方、治水など他分野でも航空レーザ計測の利用が進んでいるところです。しかしながら、目的に応じたデータを得るためには計測対象地域によって適切な計測密度が異なることや、植生（季節）条件によって得られるデータが異なる等、他分野での航空レーザ計測の成果ではデータとして不十分であり、森林・林業分野におけるデータ取得に適した計測方法があることは、残念ながら、森林・林業分野に携わる事業者や行政職員等には、まだ十分に知られていません。

我が国の森林は資源として本格的な利用時期を迎えていることから、この資源を有効かつ合理的に活用し、林業が地域における成長産業の一つとして浮上できるよう、林野庁ではさまざまな施策を講じているところであり、航空レーザ計測のような新たな技術を用いた林業生産の計画に必要な森林資源情報や地形情報の効率的な把握や解析は、これからますます重要度が増してくると期待しております。

また、今年の台風に伴う広範囲かつ長時間の豪雨等の経験を踏まえ、治山事業の計画・実施、防災上の配慮が必要な森林の判別など、国土強靱化の観点からも積極的な活用が進められることでしょう。

森林・林業分野の航空レーザ計測についてわかりやすくとりまとめられたものは今までありませんでしたから、現場での積極的な取組が難しかった面もあったと思いますので、本ハンドブックをぜひ、業務の参考マニュアルとしてご活用していただくようお勧めするとともに、本ハンドブックの利用を通じて、レーザ計測の実施が進むことにより、森林・林業分野のデータをより正確かつ効率的に得ることが可能となり、そのデータが森林・林業関係者間で共有され、森林・林業の現場において有効に利用されることを心より願う次第です。

平成26年9月 林野庁 森林整備部長 本郷 浩二

C O N T E N T S

刊行にあたって (一般社団法人 日本林野測量協会 会長)

刊行に寄せて (林野庁 森林整備部 部長)

1. 航空レーザ計測の概要	1
1.1 航空レーザ計測とは	2
1.1.1 航空レーザ計測とは	2
1.1.2 航空レーザ計測のイメージ	3
1.1.3 森林・林業分野における航空レーザ計測の特徴	4
1.2 森林・林業分野における計測密度	5
1.2.1 レーザ照射点数の比較 (1 点 /m ² ・4 点 /m ²)	5
1.2.2 航空レーザ計測密度による判読精度の比較	6
1.2.3 航空レーザ計測密度による判読精度の比較事例	8
1.3 詳細地形図と森林基本図との比較 (同一地区で比較)	17
2. 標準歩掛	19
2.1 作業フロー	20
2.2 作業項目の説明	21
2.3 歩掛表 (計測密度: 4 点 /m ²)	22
2.3.1 標準歩掛表	22
2.3.2 積算例 (平成 26 年度人件費を使用)	23
2.4 発注面積に係る留意点	24
3. 標準仕様書	25
3.1 特記仕様書例	26
3.2 製品仕様書例	29
4. 用語集・Q & A	49



1 航空レーザ計測の概要

1.1 航空レーザ計測とは



1.1.1 航空レーザ計測とは

航空レーザ計測とは、航空機に搭載したレーザ測距装置を使用して、地表を水平方向の座標 (x,y)、高さ (z) の三次元で計測する方法である。

航空レーザ計測は、計画準備を除くと、計測（データ収集）と処理・解析・加工の大きく2つに分けられる。

計測（データ収集）は、地表にある山・谷などの自然地形、宅地・道路などの人工地形、森林などの自然地履物、ビル・橋などの人工地履物からなる地物を、航空機の位置・姿勢が正確に得られるセンサからレーザを発射して距離を測定し、その数値を測量座標系などに表す。

計測（データ収集）を行う航空レーザ計測システムは、通常、3つの機器により構成され、高頻度のレーザ発射を行い、高密度の点群データを取得する。3つの機器とは、G N S S（全地球測位システム）、I M U（慣性計測装置）、そしてレーザ測距儀である。

これに、デジタルカメラなどの画像取得装置が付随しているものが日本には多い。

処理・解析・加工は、大きく3つに分かれる。はじめに、取得データからキネマティック解析・G N S S / I M U解析・座標変換・標高変換の一次処理を経て三次元計測データ（オリジナルデータ）ができる。次に、精度検証を経て、レーザデータ処理の中で最も重要かつ手間のかかる地物分離のフィルタリング処理が行われ、オリジナルデータからグラウンドデータが作成される。

最後に、ランダムデータ（オリジナル及びグラウンドデータ）を内挿によりメッシュデータに変換し、ボリューム算出やC Gに利用しやすいデータに加工する。

成果品は、プロセス検査等に用いられる中間検査資料、主にリモートセンシングや環境・森林林業分野の研究・開発技術者などが中間ユーザーとして取り扱う航空レーザ計測データ（オリジナル及びグラウンドデータ）、建設調査コンサルタント技術者などのエンドユーザに利用度の高いメッシュデータである。

エンドユーザによる成果品例

基本・・・地形図（平面図）、定期横断図、オルソフォト画像など

応用・・・任意横断図、微地形3次元地図、土砂変動差分図、標高分布図、鳥瞰図、ビューワなど

（※本文は、（公財）日本測量調査技術協会の承認を得て、同協会発行の「図解航空レーザ計測」―基礎から応用まで―より一部引用しております。）

1.1.2 航空レーザ計測のイメージ

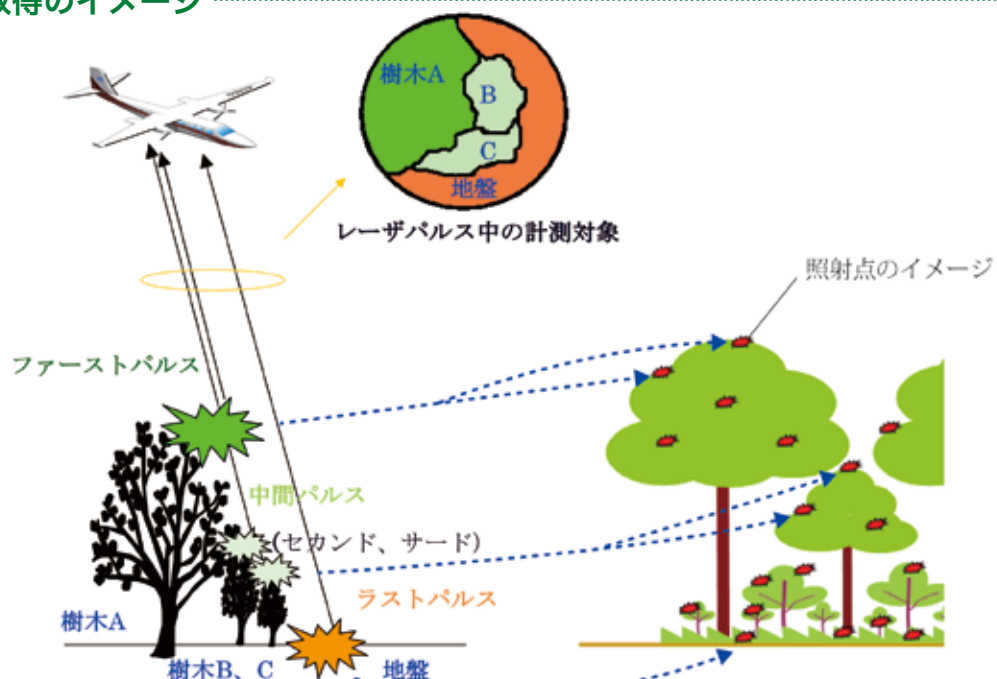
航空レーザ計測における計測の全体イメージと取得されるデータのイメージを以下に示す。

計測の全体イメージ



※航空レーザ計測は、衛星・機上・地上の3つのシステムにより実施される。

データ取得のイメージ



1.1.3 森林・林業分野における航空レーザ計測の特徴

地形解析の特徴

- ・ 広域の荒廃状況（位置、規模、形状等）を正確に把握できる。
- ・ 樹木下の微細な地形を把握できる。
- ・ 多時期のデータがあれば、地形や土砂の変動量を把握できる。
- ・ 既施工地（山腹工、溪間工、路網等）の位置、規模を正確に把握できる。
- ・ 任意の場所での縦横断面図を作成し、計画の概略を作成できる。
- ・ 鳥瞰図の作成など各種説明用に活用できる。

樹木解析の特徴

- ・ レーザデータであるため、地形などによる影の影響を受けない。
- ・ レーザデータなので倒れ込みがなく、不可視領域がない。
- ・ 空中写真で生じる接合部の色調の違いが生じない。

森林レーザ解析で得られる情報（4点/m²の場合）

- ・ 樹高（小班単位、単木レベル）
- ・ 立木密度
- ・ 胸高直径（樹冠面積からの推定）
- ・ 材積（小班単位、単木レベル）、収量比数
- ・ 樹冠長（率）（長伐期施業対象林分）
- ・ 荒廃林の分布把握
- ・ 林分垂直構造の把握

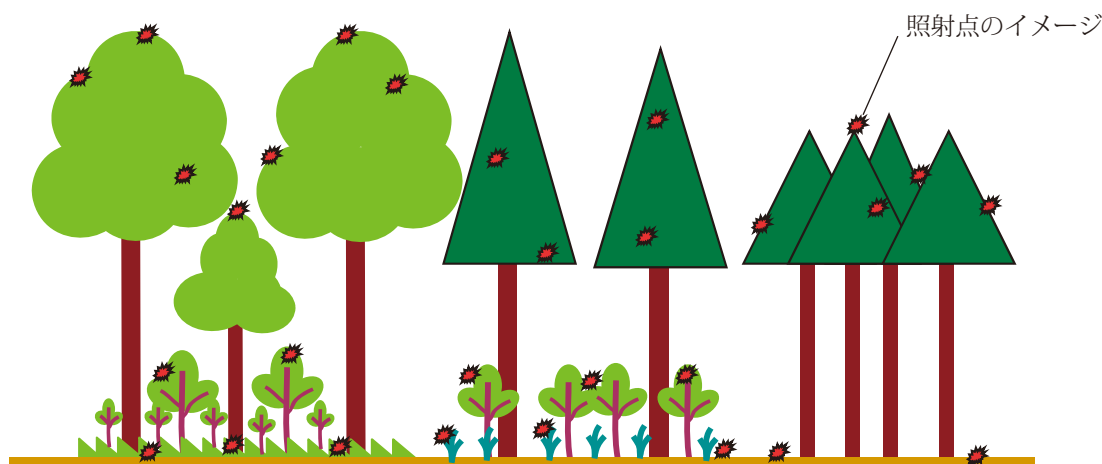
まとめ

- ・ 現地調査では得ることの難しい多様な情報を取得できる。
（詳細地形図（P.17を参照）を現地に持参することにより現地作業の効率化が可能）
- ・ 入山が困難な箇所の情報を取得できる。
- ・ 短期間で広域の森林（地形）情報を一定精度で面的に把握可能。
- ・ 解析データだけでなく、現地調査データ、地理・地形データ情報もGISで一元管理が可能。
- ・ レーザ計測データは、3次元情報データであるため、鳥瞰図作成など説明資料に使える。

1.2 森林・林業分野における計測密度

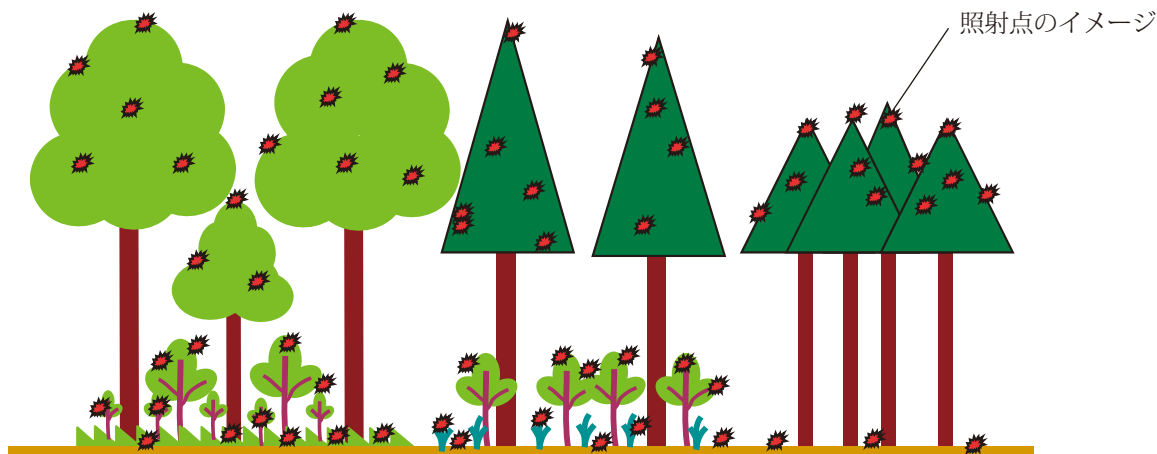


1.2.1 レーザ照射点数の比較 (1 点 /m²・4 点 /m²)



1 点 /m²

- ・ 樹頂点付近にレーザが当たりにくく、単木での解析が不可能。
- ・ 下層植生や地盤に到達するレーザが少なく解析の精度が低くなる。



4 点 /m²

- ・ 樹頂点付近にレーザが当たる可能性が高く、単木の解析が可能。
- ・ 下層植生や地盤にも数多くのレーザが当たるため、より詳細な解析が可能。

1.2.2 航空レーザ計測密度による判読精度の比較

航空レーザ計測における照射密度は、その目的に応じて設定すべきものである。治山場面においても、森林保全と一体となった整備計画を行う必要があり、当然森林の荒廃状況・森林整備状況を精度よく把握した上で治山施設等の適正配置・規模の計画がなされるものであり、4点/m²は必須条件である。また、既存の治山施設の把握にも有効である。従って、森林・林業分野における照射点密度は、治山及び森林資源把握に限らず4点/m²が必要である。以下に、項目毎の比較を記す。

	No	比較項目	固定翼		備 考
			(1点/m ²)	(4点/m ²)	
全般		常緑広葉樹林帯のレーザパルスの地盤到達率	△or×	○	あくまでも確率の比較となるが、常緑広葉樹林帯では地盤到達点数が少なくなることから、より多くの照射で地盤到達点数を増やす必要がある。
施設の整備状況	1	治山施設（治山ダム天端1.5m）	△or×	◎	4点/m ² では、治山ダムを正確に判別できる。溪間工のほか、簡易構造物による山腹工も判読できる可能性が高い。
	2	山腹工	○or△	◎	4点/m ² では、土留工の構造及び位置が明確になる。
	3	路網の整備状況（旧作業路）	△or×	◎	4点/m ² では、古い作業路等も明瞭に判読可能。1点/m ² では判読困難又は判読不可能。
荒廃状況	4	荒廃溪流	○	◎	4点/m ² では、土砂堆砂域を明瞭に判読できる。1点/m ² では明瞭度・精度が低下する。4点/m ² で多時期のデータがあれば、土砂変動量や溪床堆砂面積の変化を、より精度よく把握できる。
	5	崩壊地	○	◎	4点/m ² では、輪郭や崩土の堆積状況が明瞭に判読可能。1点/m ² では明瞭度が低下。
	6	侵食溝（ガリー）	△or×	◎	比較的狭い幅のガリー侵食は、1点/m ² では判読困難又は不可能。
	7	地すべり地形	○	◎	4点/m ² では、滑落崖、移動土塊を明瞭に判読可能。1点/m ² では明瞭度が低下。
	8	荒廃危険地（段差、亀裂、線状凹地）	△or×	◎	4点/m ² では、明瞭に判読可能。1点/m ² では判読困難又は不可能。
施設計画	9	縦横断面図作成、治山施設の概略設計	○	◎	4点/m ² では、地形に変化が無ければ治山施設の概略設計に十分耐えうる精度。
	10	作業道の概略設計	○	◎	4点/m ² では、地形に変化が無ければ概略設計に十分耐えうる精度。土工量をより正確に試算できる。
森林の状態	11	立木密度の区分	×	◎	4点/m ² では、樹冠形状が高精度に再現されるため単木の自動抽出が可能であり、立木密度を把握することができる。1点/m ² では、樹冠部での反射パルスが過小で高密度林分では樹冠形状の再現性が低下するため単木抽出が困難又は不可能。
	12	樹高の計測（単木レベル）	×	◎	4点/m ² では、単木レベルで計測可能。
	13	胸高直径の推定	×	◎	4点/m ² では、樹冠投影面積から胸高直径を推定可能。1点/m ² では樹冠形状を正確に再現することができないため推定不可能。
	14	材積の推定	○or△	◎	4点/m ² では、単木レベルで推定可能。
	15	樹冠の疎密度	○or△	◎	4点/m ² では、1点/m ² と比べて樹冠形状の再現性が高く、樹冠疎密度の解析精度が向上する。
境界測量	16	森林境界明確化（林野庁計画課）	○	◎	森林境界明確化における実測は、DGNSS+デジタルコンパス（1m）を用いた手法。最近のDGNSSは樹木遮蔽下でも±10cm程度の精度がある。
	17	山村境界保全事業（国交省地籍整備課）	△	○	・14条地図（不動産登記法）の精度：山林・原野地域 1000分の1又は2500分の1。 ・一筆地籍測量：乙3（山村・原野）の精度区分 →筆界点の位置誤差：平均2乗誤差100cm, 公差300cm

◎ ○ △ ×
可能 ← → 不可能

解 説 (P6の表の比較項目のNoに対応)

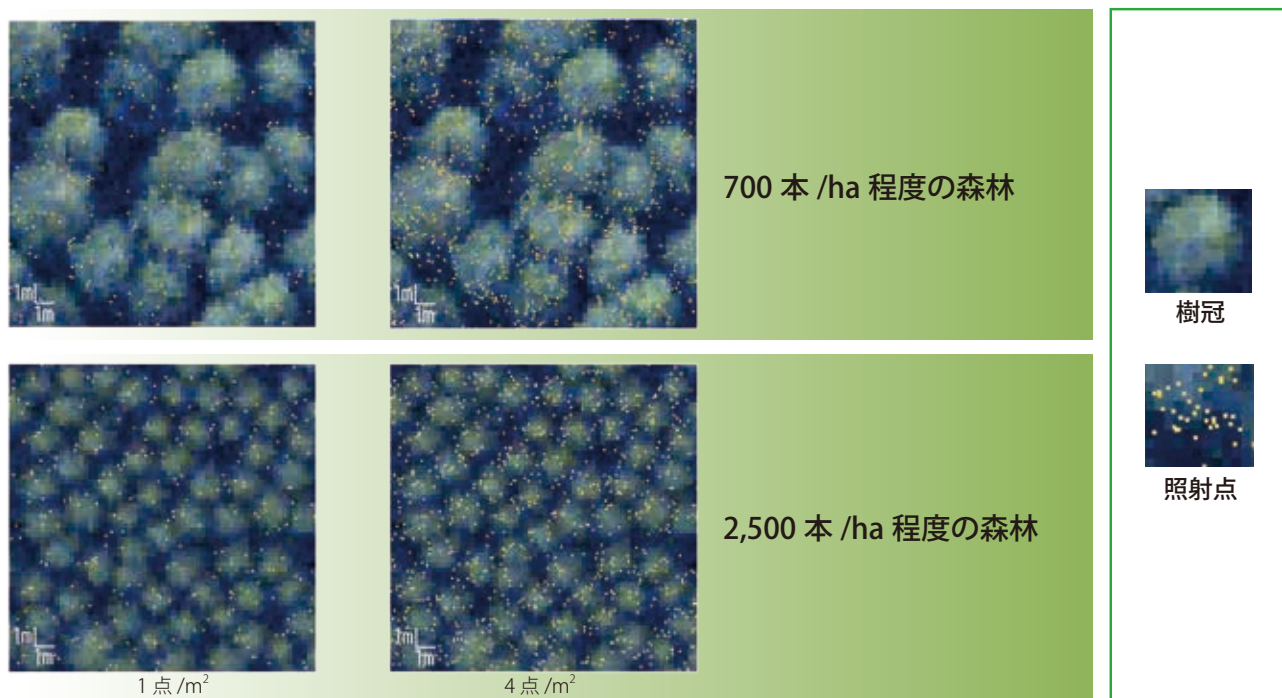
1. 既往の治山施設の整備状況を確認する場合、植生が回復した斜面でも地表データをより多く観測できる4点/m²の照射密度が有効である。
2. 4点/m²の照射密度では、山腹工の土留工位置及び構造が明確となる。
3. 治山工事の施工性や木材搬出を検討するにあたり、旧作業路の存在を事前に確認しておくことで、効率的な事業が可能になる。
4. 堆砂域を明瞭に判読することで、過去における土砂移動の履歴を知ることができ、治山ダム計画の必要性を説明しやすくなる。
5. 崩落崖の形状や崩土の堆積状況を知ることにより、拡大荒廃の可能性を評価できる
6. 荒廃の予兆となりうる小規模なガリーは、1点/m²の照射密度ではばやけて判読困難なものも、4点/m²では判読できる。
7. 地すべり地形については、土塊の境界を明確にすることが必要。4点/m²の照射密度では明瞭に判読できるが、1点/m²ではばやけて判読困難な場合も出てくる。
8. 崩壊危険斜面で特徴的な微地形は、4点/m²の照射密度で明瞭に判読できるが、1点/m²では正確に判読できない。4点/m²は1点/m²に比べて、レーザー光の地表到達度が高いので、地表の微細な変化の把握が可能になる。
9. 4点/m²の照射密度では、治山施設の概略設計の精度を十分に保有する。土質や荒廃原因等は現地確認が必要である。
10. 微地形判読を行うことにより、緩斜面を通り荒廃危険地を避けた安価で崩れにくい最適なルート選定が可能である。
11. 1,800～2,000本/ha程度の高密度林分を対象に解析を実施する場合、1点/m²の照射密度では1つの樹冠に2～3点程度しかレーザーが照射されないことから、樹冠形状の再現性が低下し、単木抽出は不可能。
12. 4点/m²の照射密度では単木抽出解析により単木レベルで樹高の計測が可能。(1点/m²では単木レベルでの樹高の計測は不可能。)
13. 樹冠投影面積と現地で取得した胸高直径との相関式により胸高直径を推定する。1点/m²では樹冠部での反射パルスが過小で樹冠投影面積と胸高直径の相関が低下するため推定が困難。
14. 4点/m²の照射密度では樹高と胸高直径の解析結果から単木レベルで材積の推定が可能。1点/m²ではDCHM(樹冠高データ)を用いて総体積を算出し、現地材積との相関式を作成することで材積が推定可能であるが、4点/m²の単木レベルでの推定結果と比べて精度が低下する。
15. DCHM(樹冠高モデル)のうち任意の高さ(例えば5m)以上の樹冠高を示すグリッドを樹冠部グリッドと定義し、任意サイズ(例えば10m×10m)の解析メッシュに内包される全グリッドの中で樹冠部グリッドが占める割合(%)を算出することで樹冠疎密度を把握する。1点/m²の照射密度よりも4点/m²の方が樹冠形状の再現性が高く、疎密度の解析精度が向上する。
16. 地権者等の立会による境界(境界木・巨石等)確認による実測が基本。高齢化による現地の精通者の減少に対し、急峻な山溪に行かずとも3次元地図による確認が可能になる。4点/m²の計測データでは、尾根・谷線、森林下の山道、樹木に覆われた耕作放棄地等が把握でき、有効な情報となりうる。
17. 『平成21年度末時点における山村部の地籍調査進捗率は41%であり、全国平均よりも遅れています。現在、地籍調査が行われていない森林の面積は10万平方キロメートル(1000万ha)以上と膨大であり、早急に全域で地籍調査を行うことは大変難しい状況です。』(国土交通省地籍調査Webサイトより)。

1.2.3 航空レーザ計測密度による判読精度の比較事例

照射点数の比較

2,500 本 /ha 程度の森林に 1 点 / m^2 の照射密度で計測しても、全ての木の樹頂点（近く）に照射されていないことが分かる。

照射のイメージ

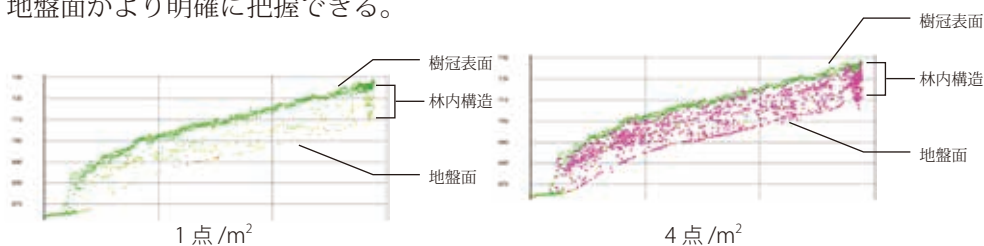


アカマツ混交林の場合

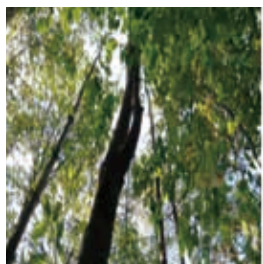


林内状況写真

照射点の密度を 4 点 / m^2 にした場合、1 点 / m^2 と比較して、樹冠表面、林内構造、地盤面がより明確に把握できる。

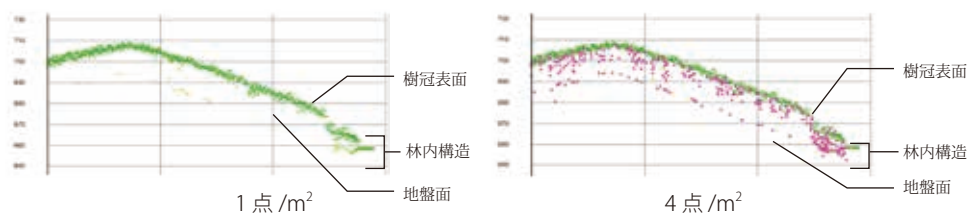


広葉樹林 (コナラ、ミズナラ等) の場合



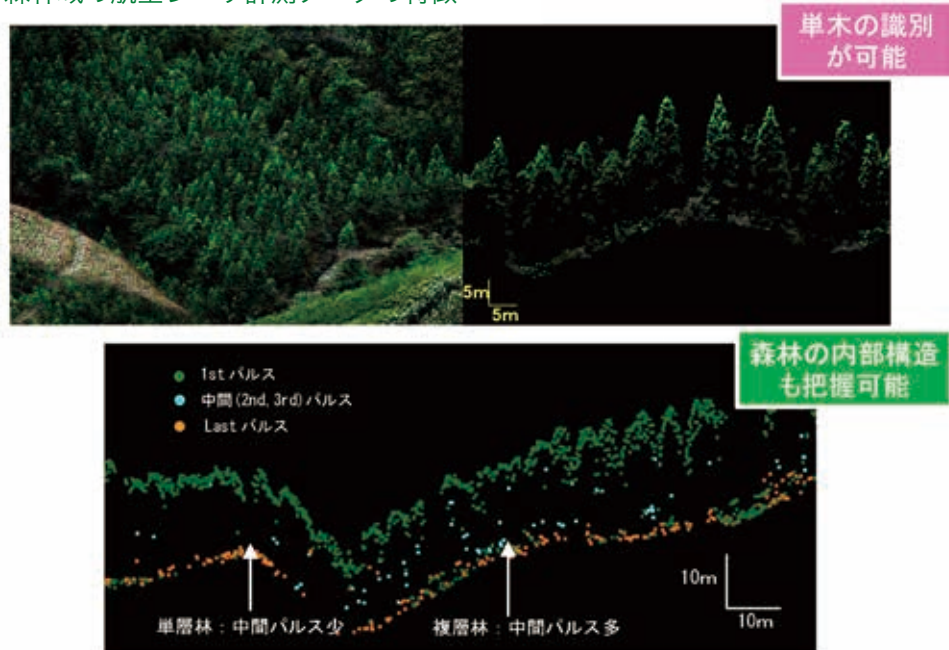
林内状況写真

照射点の密度を 4 点 / m^2 にした場合、1 点 / m^2 と比較して、樹冠表面、林内構造、地盤面がより明確に把握できる。

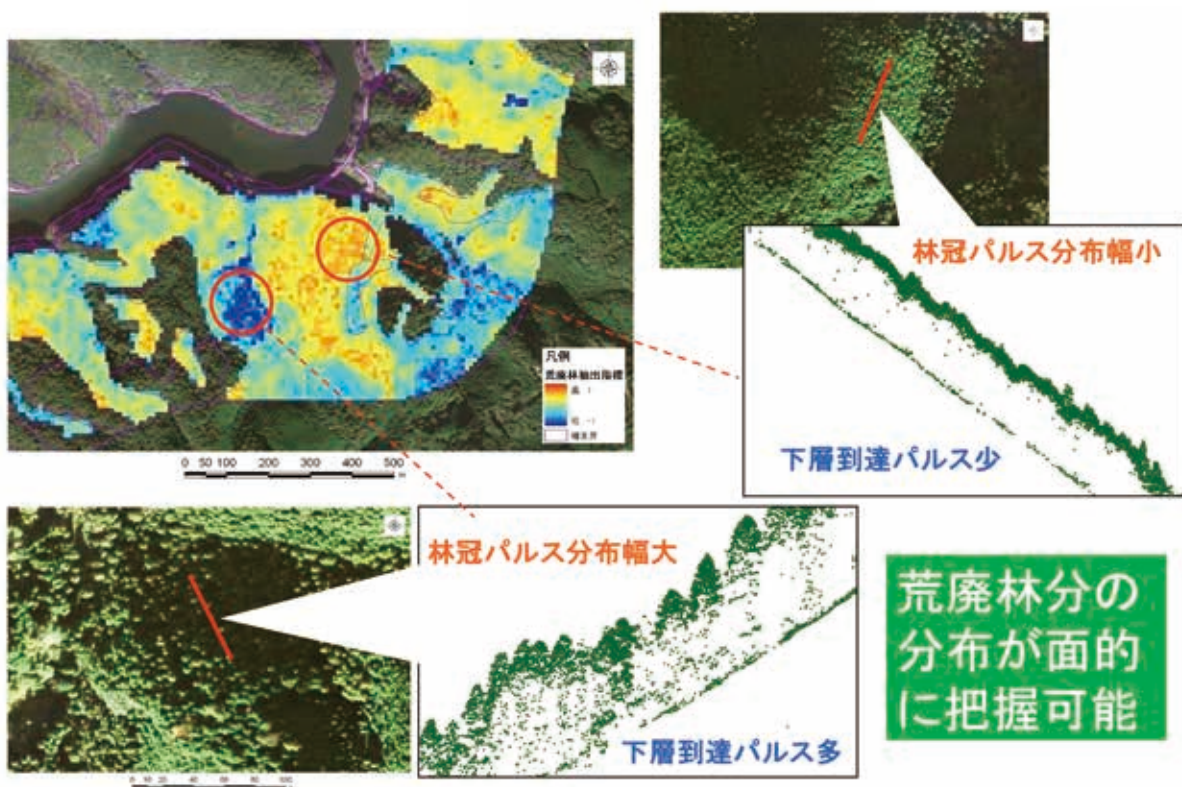


4点/m²の航空レーザ計測で「山」を測る

森林域の航空レーザ計測データの特徴



4点/m²の航空レーザ計測で「荒廃林分」を抽出する



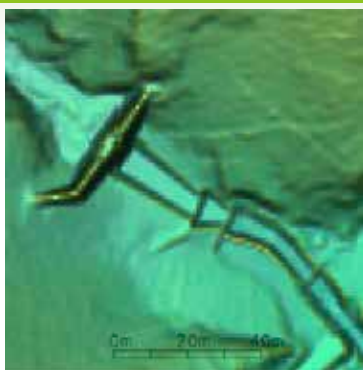
空中写真とレーザデータ（1点/m²、4点/m²）の比較

治山施設

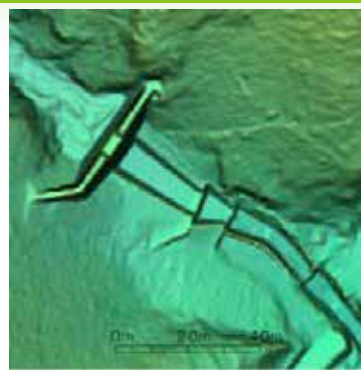
空中写真オルソ



1点/m²



4点/m²



治山ダムと床固工と思われる。1mメッシュに比べて、構造物のエッジが明瞭である。

治山施設

空中写真オルソ



1点/m²



4点/m²



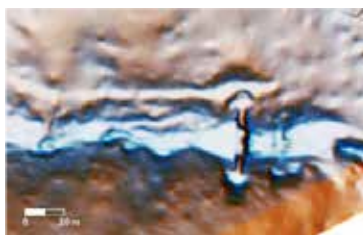
1mメッシュに比べて、溪流及び構造物のエッジが明瞭である。（赤丸内）

治山施設

空中写真オルソ



1点/m²



4点/m²



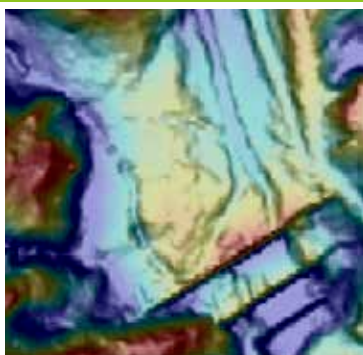
施工中の治山ダムと思われる。4点/m²では、天端幅が読み取れる。また、下流側の水通し部が明瞭に判読できる。

治山施設

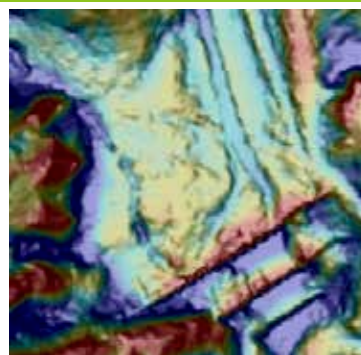
空中写真オルソ



1点/m²



4点/m²



4点/m²では、治山ダム形状及び土砂堆積状況が明瞭に再現できる。

林道施設

空中写真オルソ



1点/m²



4点/m²



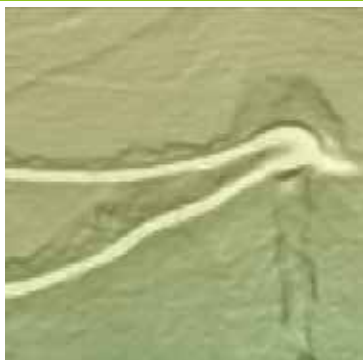
4点/m²では、切土のり面の小段が読み取れる。(矢印)

林道施設

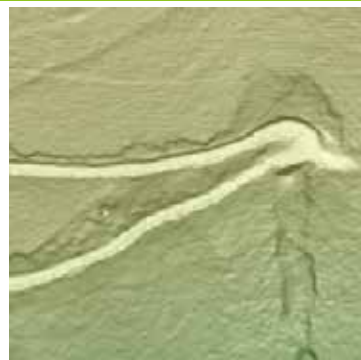
空中写真オルソ



1点/m²



4点/m²



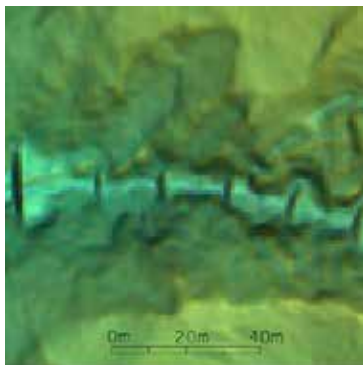
山側斜面の表土の崩落が明瞭に表現されている。

溪間工

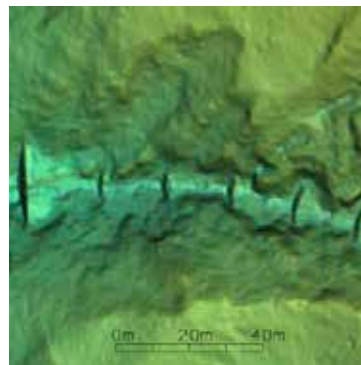
空中写真オルソ



1点/m²



4点/m²



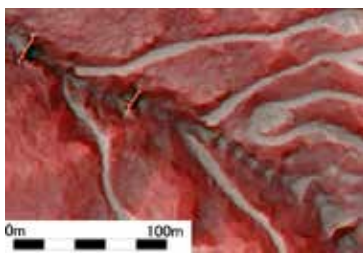
1mメッシュに比べて、構造物のエッジが明瞭である。崩壊地のエッジも明瞭に判読できる。

溪間工

空中写真オルソ



1点/m²



4点/m²



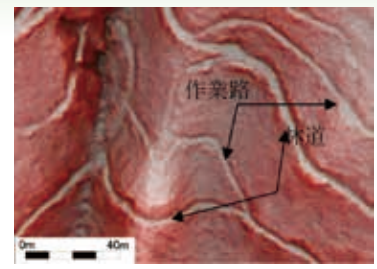
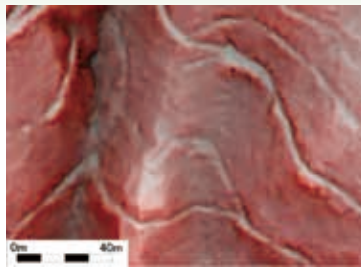
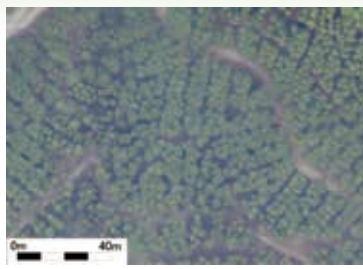
4点/m² では、治山施設の形状や数を明瞭に把握できる上に、堆砂状況まで判読が可能である。

路網の整備状況

空中写真オルソ

1 点 / m²

4 点 / m²



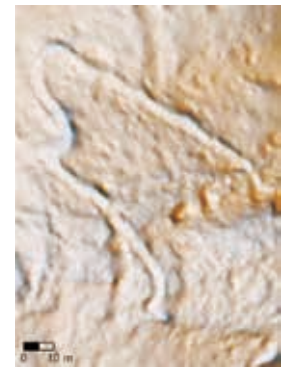
森林に復旧した後でも、4 点 / m²では作業路までも鮮明に判読ができる。

路網の整備状況

空中写真オルソ

1 点 / m²

4 点 / m²



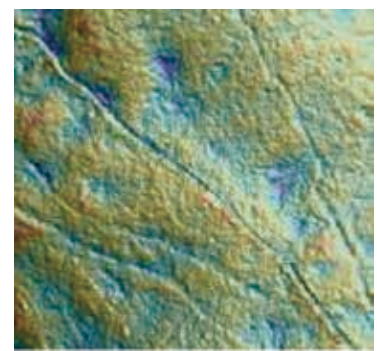
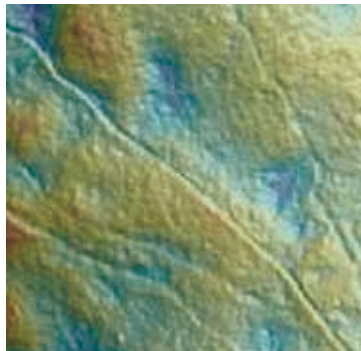
緩傾斜地の路網は、計測密度が低いと判読が困難である。

路網の整備状況

空中写真オルソ

1 点 / m²

4 点 / m²



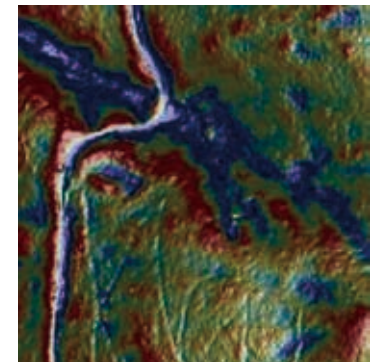
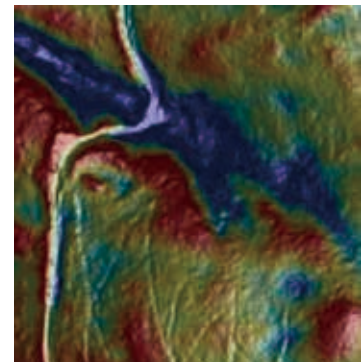
樹木下の微細な路網の形状が把握できる。

路網の整備状況

空中写真オルソ

1 点 / m²

4 点 / m²



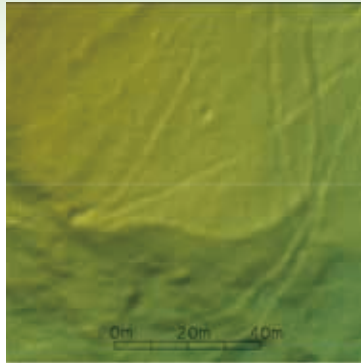
1m メッシュに比べて、路網の輪郭が明瞭である。

路網の整備状況

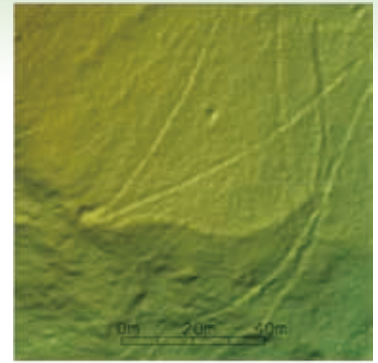
空中写真オルソ



1 点 / m²



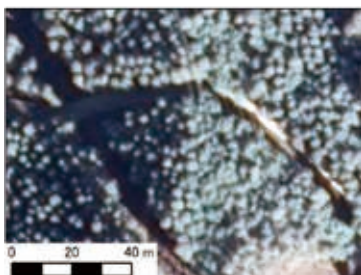
4 点 / m²



1m メッシュに比べて、路網の輪郭が明瞭である。

路網の整備状況

空中写真オルソ



1 点 / m²



4 点 / m²



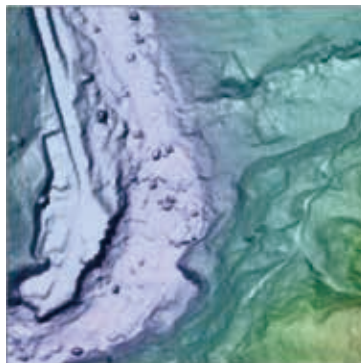
4 点 / m²では、道路擁壁と擁壁裏のクリアランスが明瞭に読み取れる。一方、1 点 / m²では擁壁裏の平坦地は読み取れない。

荒廃溪流

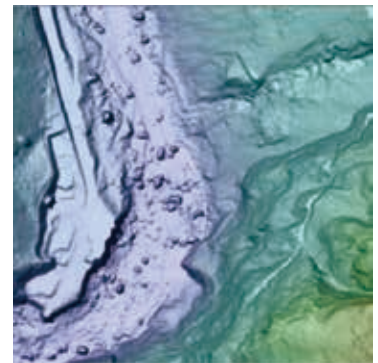
空中写真オルソ



1 点 / m²



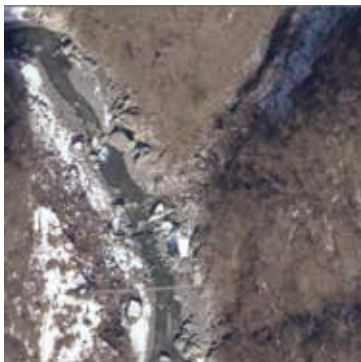
4 点 / m²



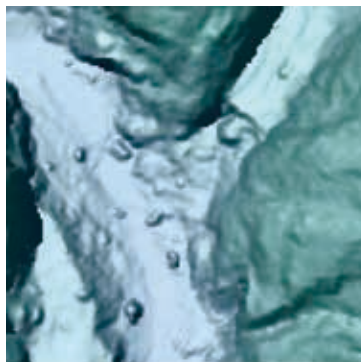
細かい転石は点密度が粗いと表現できなくなる。

荒廃溪流

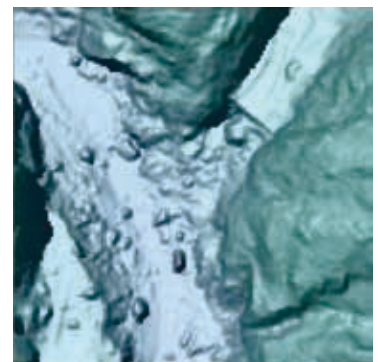
空中写真オルソ



1 点 / m²



4 点 / m²



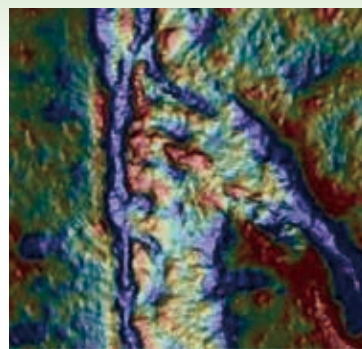
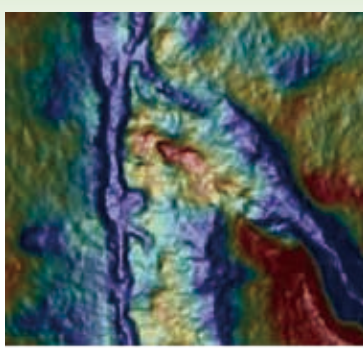
転石や土砂堆積物の明瞭さが異なる。

河床堆積物

空中写真オルソ

1 点 / m²

4 点 / m²



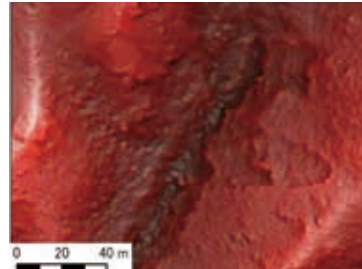
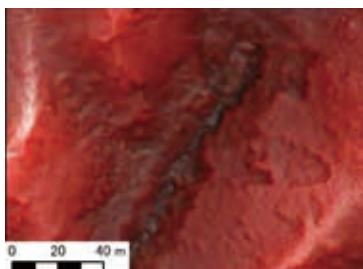
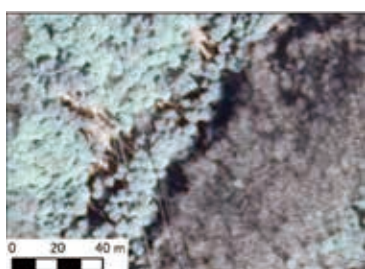
4 点 / m²では、河道内に流れ込んでいる土砂の状況が明瞭である。

崩壊地

空中写真オルソ

1 点 / m²

4 点 / m²



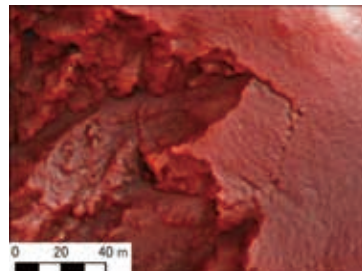
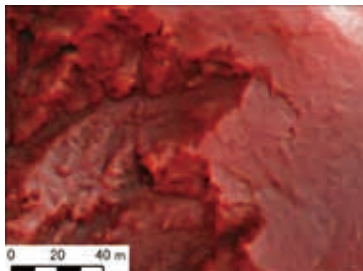
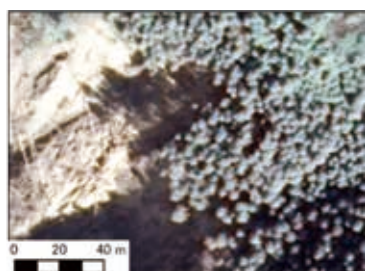
4 点 / m²では、崩壊地形の輪郭が明瞭である。
一方、1 点 / m²では、輪郭の明瞭度がやや低下する。

崩壊地（クラック）

空中写真オルソ

1 点 / m²

4 点 / m²



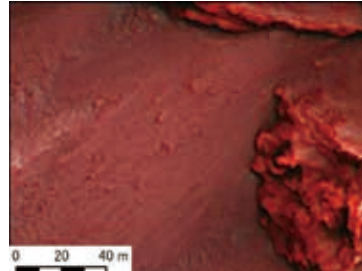
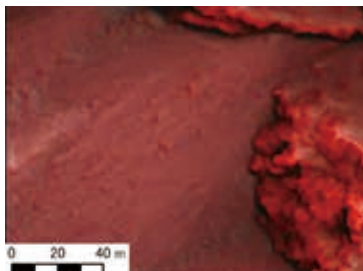
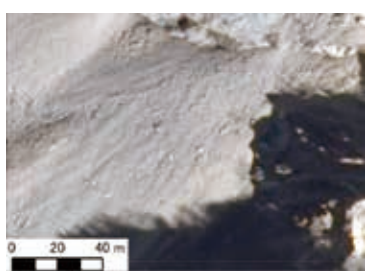
4 点 / m²では、明瞭な円弧状クラックが判読できる。
一方、1 点 / m²では、円弧状クラックが判読できるものの、やや不明瞭になる。

崩壊裸地部

空中写真オルソ

1 点 / m²

4 点 / m²



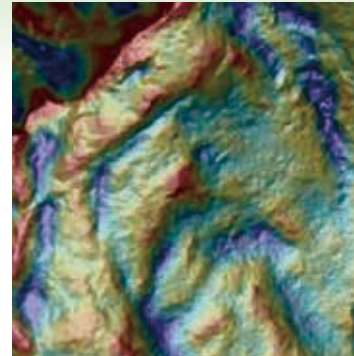
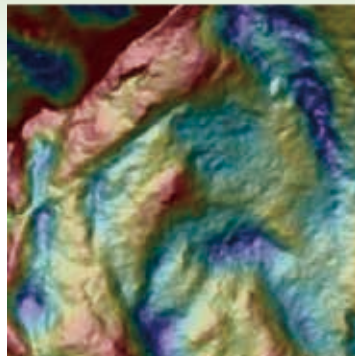
1 点 / m²では、すべてのデータで判読可能であるが、ややぼやけた画像となる。

崩壊地（滑落崖）

空中写真オルソ

1 点 /m²

4 点 /m²



4 点/m²では、樹木下の滑落崖の状況が明瞭に判読できる。

崩壊地

空中写真オルソ

1 点 /m²

4 点 /m²



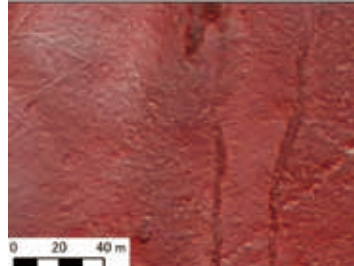
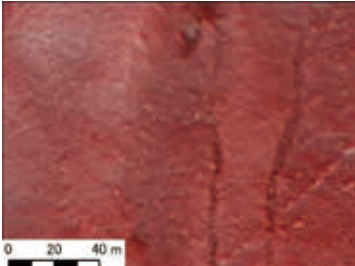
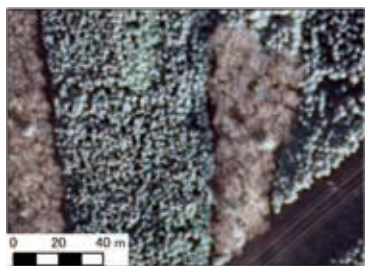
4 点/m²では、崩壊部のエッジが明瞭に見えるため、新規崩壊地と崩壊跡地の区分が明瞭になる。治山施設の安全にかかわる小規模な崩壊地も判読できる。

浸食溝（ガリー）

空中写真オルソ

1 点 /m²

4 点 /m²



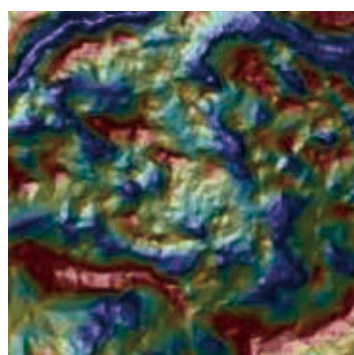
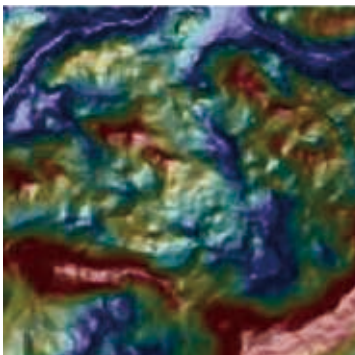
4 点/m²では、ガリーを明瞭に判読可能である。一方、1 点/m²では明瞭度が低下し、特に、比較的浅いガリー侵食部で差異が明確である。

地すべり地形

空中写真オルソ

1 点 /m²

4 点 /m²



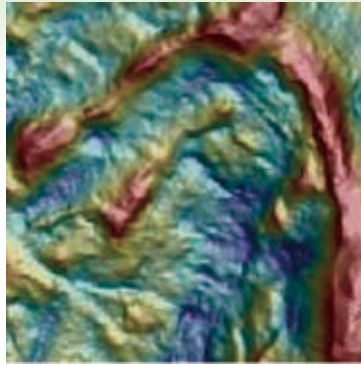
4 点/m²では、地すべり地域の土砂堆積状況が明瞭に把握できる。

地すべり地形

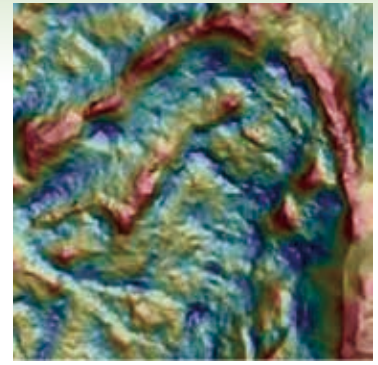
空中写真オルソ



1 点 /m²



4 点 /m²



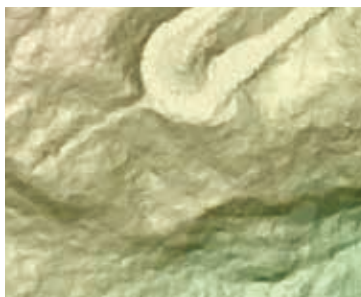
4 点/m²では、地すべり地の馬蹄形形状及びクラックが明瞭に把握できる。

地すべり地形

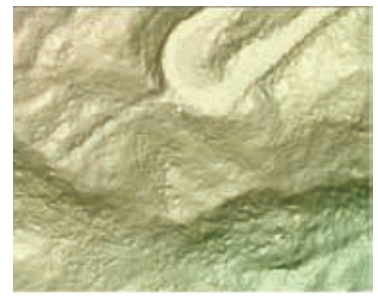
空中写真オルソ



1 点 /m²



4 点 /m²



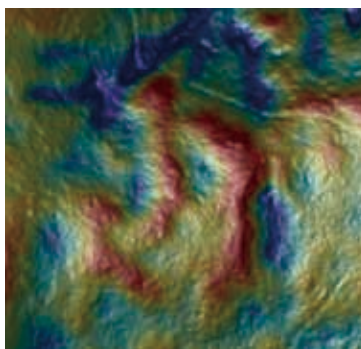
4 点/m²では、円弧状の多重の段差地形が見える。

溶岩地形

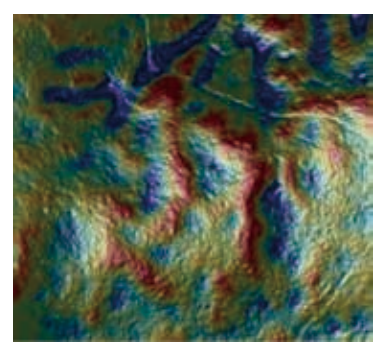
空中写真オルソ



1 点 /m²



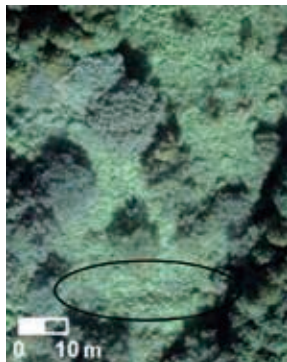
4 点 /m²



4 点/m²では、樹木下の溶岩地形の起伏がより明瞭に判読できる。

荒廃危険地

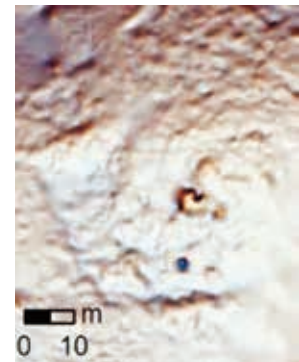
空中写真オルソ



1 点 /m²



4 点 /m²

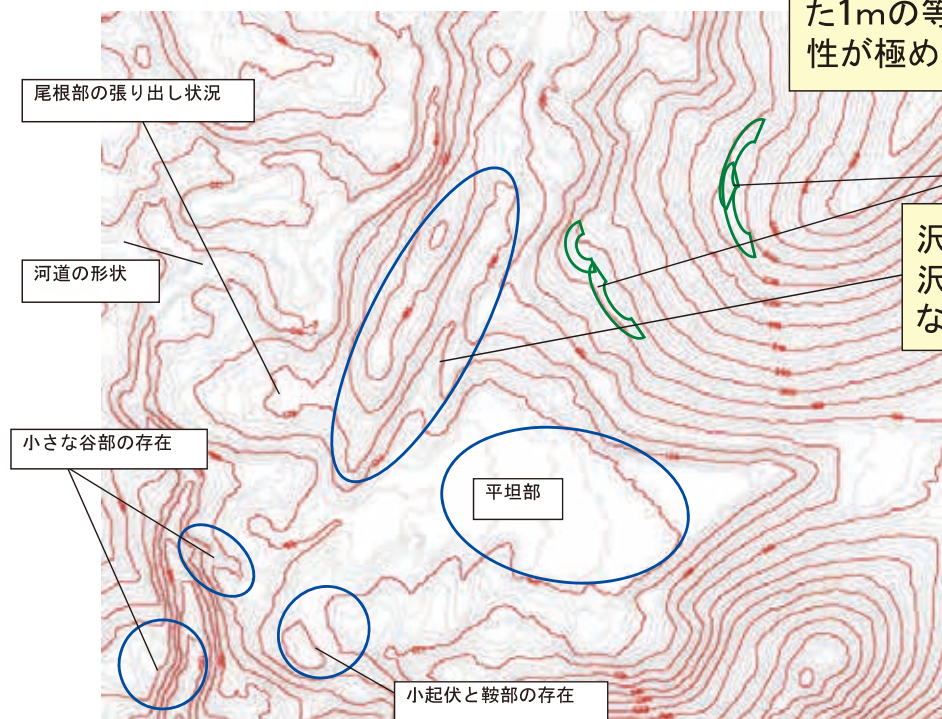


荒廃危険地となる小崖やクラックなどの微地形は、計測密度が高いほど判読しやすくなる。

1.3 詳細地形図と 森林基本図との比較 (同一地区)



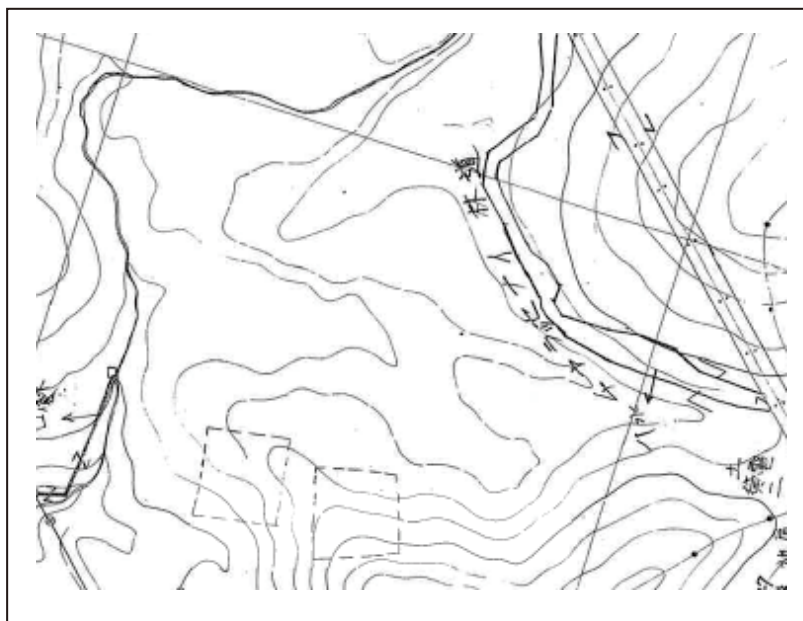
レーザデータから作成した詳細地形図



航空レーザ計測により作成された1mの等高線図は地形の再現性が極めて高い

沢筋の位置が明確であり、沢筋を出来るだけ横断しない路線計画ができる

既存の森林基本図

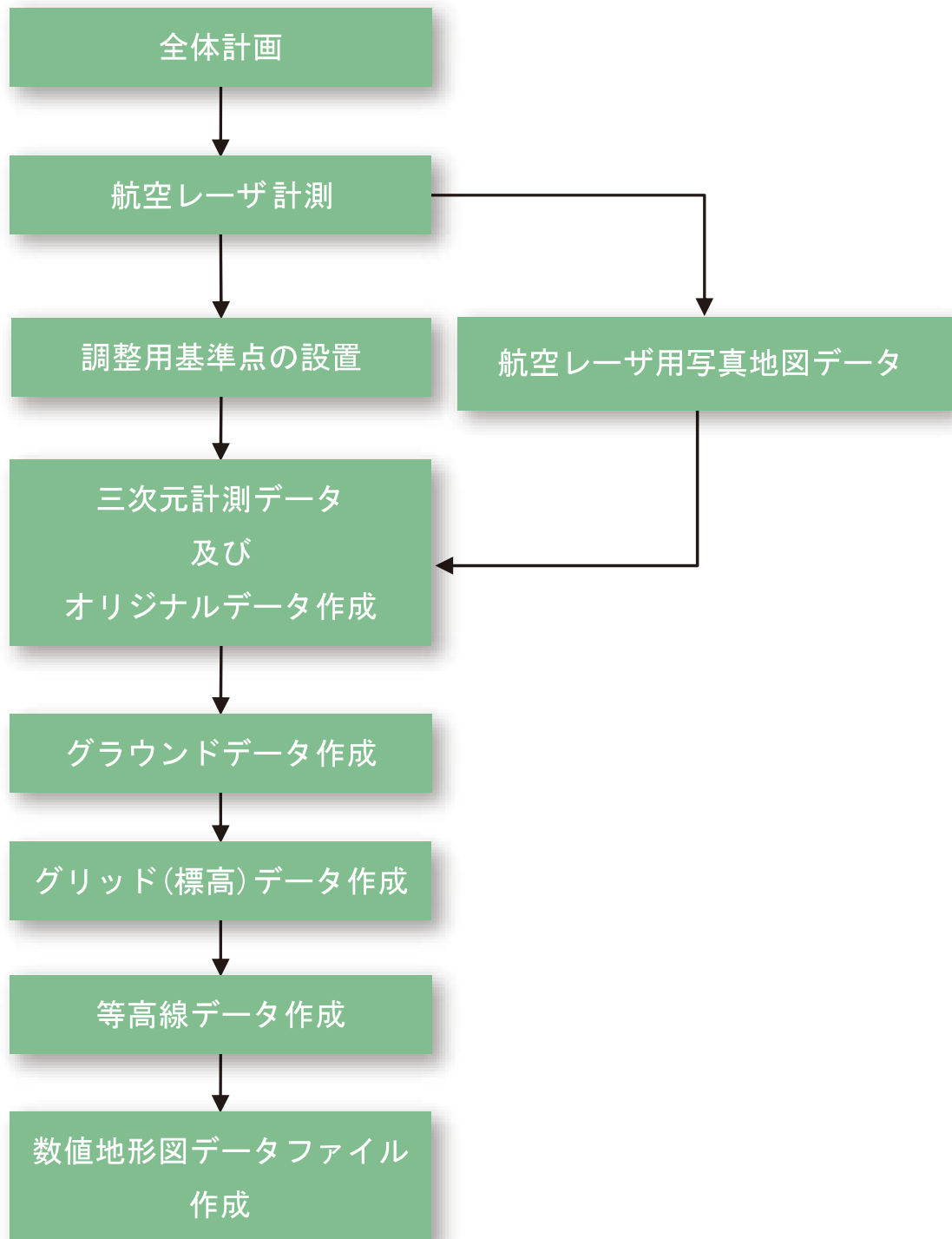


同一地区でも地形表現に大きな違いがでる



2 標準步掛

2.1 作業フロー



2.2 作業項目の説明



全体計画

業務の実施にあたり、業務の目的及び趣旨を十分に理解したうえで、適切な工程計画・使用機器・技術者の配置等を立案したうえで計測する地形、森林の状況を考慮し、計測計画を作成する。また、飛行する操縦士、整備士、撮影士を含めて本業務の内容を十分に把握させる。併せて関係機関への諸手続を行う。

航空レーザ計測

航空レーザ計測システムを搭載した航空機にて、対象地域の森林・地形等を計測する。使用する航空レーザ計測システムはデジタルカメラを搭載し、シングルパルス発射頻度が最大 10 万発 / 秒以上の機能を有するものとし、計測密度は、4 点 / m^2 以上に設定する。

調整用基準点の設置

航空レーザ計測点の精度検証を行うための基準点として、平坦な地形を選定し 4 級基準点測量及び 4 級水準測量に準じた測量を行う。また設置点数は (作業地域面積 (km^2)/25)+ 1 点を標準とする。(最低 4 点以上)

三次元計測データ及びオリジナルデータ作成

①三次元計測データ作成

航空レーザ計測で取得したデータを統合処理し、計測位置の三次元座標データを作成する。

②オリジナルデータ作成

オリジナルデータは、三次元計測データから作成し、ノイズ（異常標高値）の除去を行う。また、1/2,500 国土基本図図郭の 1/4 図郭毎に作成する。

航空レーザ用写真地図データ作成

航空レーザ計測システムに付属するデジタルカメラを用いて撮影されたデジタル空中写真から、航空レーザ用写真地図（地上解像度 25 ～ 50cm / pixel）を作成する。

グラウンドデータ作成

オリジナルデータからフィルタリング処理を行い、地表面の高さを示すデータを作成する。自動フィルタリングを行い、その後に手動フィルタリングを行う。手動フィルタリングでは陰影図などの地形表現手法で地盤面形状の確認を行い精度向上に努めるものとする。

グリッド(標高)データ作成

グリッドデータは、グラウンドデータから内挿補間により 0.5m グリッドで作成する。

等高線データ作成

グリッドデータを用いて、1m 間隔の等高線データを作成する。

数値地形図データファイル作成

数値地形図データとして下記のデータファイルを作成する。メタデータの作成は製品仕様書に従いファイルの管理及び利用において必要となる事項について作成する。

- ① オリジナルデータ
- ② グラウンドデータ
- ③ グリッドデータ
- ④ 水部ポリゴンデータ
- ⑤ 航空レーザ用写真地図データ
- ⑥ 位置情報ファイル
- ⑦ 格納データリスト
- ⑧ 等高線データ
- ⑨ 低密度ポリゴン

2.3 歩掛表（計測密度：4 点 /m²）



2.3.1 標準歩掛表

		数量	単位								機械経費	通信運搬費	材料費	精度管理費	安全費
				測量主任技師	測量技師	測量技師補	測量助手	操縦士	整備士	撮影士	直接人件費に対する割合	直接人件費に対する割合	直接人件費に対する割合	(直人+機械経費)に対する割合	直接測量費×安全費率(その他地域)
											(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
航空レーザ計測															
	全体計画	500.0	km ²	2.5	6.5	4.0		1.5	1.5	1.5	5.5%	0.0%	0.0%	3.0%	0.0%
	航空レーザ計測作業	500.0	km ²					100.0	100.0	100.0	194.2%	2.0%	18.7%	3.0%	2.5%
調整用基準点の設置															
	調整用基準点の設置	500.0	km ²			14.0	21.0				16.0%	0.0%	1.5%	3.0%	2.5%
地形データ作成															
	三次元計測データ作成及びオリジナルデータ作成	500.0	km ²		140.0	280.0					6.0%	0.0%	0.0%	3.0%	0.0%
	グラウンドデータ作成	500.0	km ²		140.0	415.0	260.0				6.5%	0.0%	1.5%	3.0%	0.0%
	グリッド(標高)データ作成	500.0	km ²		21.0	63.0					6.0%	0.0%	0.0%	3.0%	0.0%
	等高線データ作成	500.0	km ²		13.0	52.0					6.0%	0.0%	0.0%	3.0%	0.0%
	数値地形図データファイル作成	500.0	km ²	3.0	9.0	15.0					5.5%	0.0%	3.0%	3.0%	0.0%
打合せ協議															
	打合せ協議	1.0	式	2.0	2.0						0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%

※標準歩掛表の見方(考え方)

- 面積の考え方は森林区域の面積(例:国有林、民有林)とするが、地形データについては実作業面積で精算(森林区域の面積の約1.2～1.7倍)する。
(詳細は、P.24の2.4 発注面積に係る留意点参照)
- 単位は全て面積換算とし、1 km²(100 ha)とした。
- 地域区分は、森林・山地を適用。
- 適用範囲は、原則500 km²以上1,000 km²未満とする。
(対象面積が500 km²未満、又は、1,000 km²以上の場合は別途積算とする。)
- 計測地が本拠飛行場から遠隔地の場合は、別途運航費がかかる場合がある。



2.3.2 積算例（平成 26 年度人件費を使用）

	数量	単位	測量業務 直接人件費							機械経費		通信運搬費		材料費		精度管理費		安全費		合計	単価			
			測量主任技師	測量技師	測量技師補	測量助手	操縦士	整備士	撮影士	直接人件費計	(直接人件費×比率)		(直接人件費×比率)		(直接人件費×比率)		(直接人件費+機械経費)×係数		(直接測量費×安全費率)					
											(金額)	(金額)	(%)	(金額)	(金額)	(%)	(金額)	(%)	(金額)			(%)	(金額)	(%)
航空レーザ計測																								
全体計画	500.0	km ²	2.5	6.5	4.0		1.5	1.5	1.5	524,300	28,836	5.5%	0	0.0%	0	0.0%	16,594	3.0%		0.0%	569,730	1,139	1km ² 当たり	
航空レーザ計測作業	500.0	km ²					100.0	100.0	100.0	10,870,000	21,109,540	194.2%	217,400	2.0%	2,032,690	18.7%	959,386	3.0%	855,741	2.5%	36,044,757	72,080	1km ² 当たり	
調整用基準点の設置																								
調整用基準点の設置	500.0	km ²			14.0	21.0				800,100	128,016	16.0%	0	0.0%	12,001	1.5%	27,843	3.0%	23,503	2.5%	991,463	1,982	1km ² 当たり	
地形データ作成																								
三次元計測データ作成及びオリジナルデータ作成	500.0	km ²		140.0	280.0					10,654,000	639,240	6.0%	0	0.0%	0	0.0%	338,797	3.0%		0.0%	11,632,037	23,260	1km ² 当たり	
グラウンドデータ作成	500.0	km ²		140.0	415.0	260.0				19,617,000	1,275,105	6.5%	0	0.0%	294,255	1.5%	626,763	3.0%		0.0%	21,813,123	43,620	1km ² 当たり	
グリッド(標高)データ作成	500.0	km ²		21.0	63.0					2,114,700	126,882	6.0%	0	0.0%	0	0.0%	67,247	3.0%		0.0%	2,308,829	4,617	1km ² 当たり	
等高線データ作成	500.0	km ²		13.0	52.0					1,628,900	97,734	6.0%	0	0.0%	0	0.0%	51,799	3.0%		0.0%	1,778,433	3,556	1km ² 当たり	
数値地形図データファイル作成	500.0	km ²	3.0	9.0	15.0					716,700	39,418	5.5%	0	0.0%	21,501	3.0%	22,683	3.0%		0.0%	800,302	1,600	1km ² 当たり	
打合せ協議																								
打合せ協議	1.0	式	2.0	2.0	0.0					103,000	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%		0.0%	103,000	103,000	1業務当たり	

500 k m²当りの直接費計 76,041,674円
 諸経費(直接費の46.5%) 35,359,378円
 合計 111,401,052円

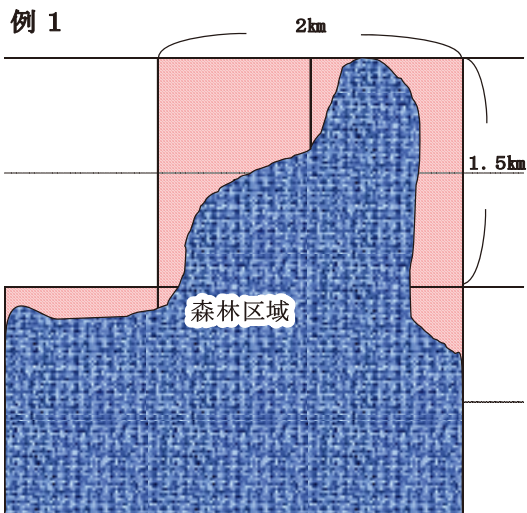
500 k m²の場合の1 k m²単価 222,802円

2.4 発注面積に係る留意点

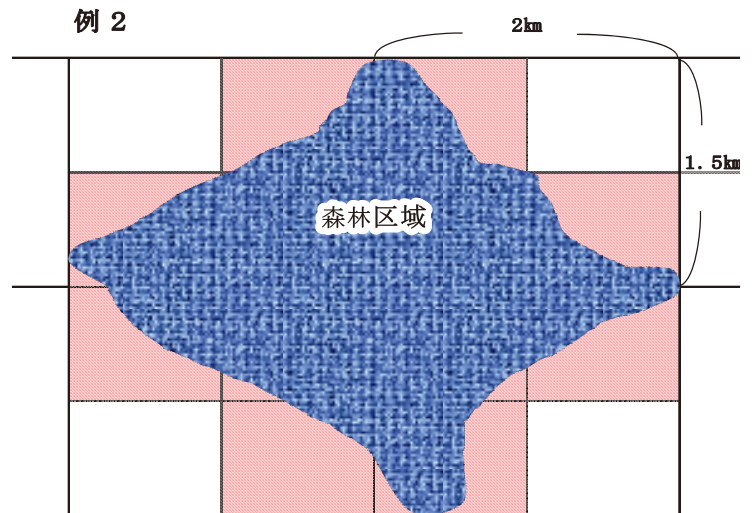


当初発注面積と最終データ作成面積が異なる（当初発注面積<データ作成面積）場合は、最終データ作成面積で精算する。なおデータ作成面積は、メッシュ（2km×1.5kmの1/4）単位とする。

以下に、当初発注面積（森林区域）とデータ作成面積の違いを図示する。



■ : 森林区域(当初発注面積)
■ : データ作成区域(森林区域を含む)



■ : 森林区域(当初発注面積)
■ : データ作成区域(森林区域を含む)

- ・発注時の面積は全て森林区域の面積とする。
- ・データ作成（三次元計測データ作成及びオリジナルデータ作成、グラウンドデータ作成、グリッドデータ作成、等高線データ作成、数値地形図データファイル作成）は、森林区域がかかるメッシュ（2km×1.5kmの最少1/4）単位で整備する。
（データ作成面積は、森林区域の約1.2～1.7倍）
- ・航空レーザ計測及び調整用基準点の設置は、データ作成面積の増には関係なく、当初の森林区域の面積とする。

※上記事項は、P.26の3.1 特記仕様書例 第8条（その他）に記載。



3 標準仕様書

3.1 特記仕様書例

第1章 総 則

本仕様書は、平成 ** 年度■■航空レーザ測量業務委託（以下、「本業務」という。）について適用され、受託者が実施しなければならない一般的事項を定めたものである。

第1条（委託名）

■■航空レーザ測量業務委託

第2条（業務箇所）

〇〇県△△地区

第3条（履行期間）

契約日翌日 ～ 平成 ** 年** 月**日

第4条（業務目的）

業務箇所の別添○有林位置図に示す「△△地区」の○有林域において、航空レーザ測量による地形データの収集を行う。なお本業務において収集した各種データは森林地域における地形解析（標高や傾斜等）及び森林資源情報解析（立木本数、樹種、樹高、林分垂直構造等）の基礎データとして使用する。

第5条（関連法令等）

本業務の実施にあたっては、本仕様書、契約書によるほか、下記の関係法令等に準拠して行うものとする。関連法令等が履行期間中に変更（更新）となった場合は、最新版を適用するものとする。ただし、監督職員の承諾を得た場合、あるいは、指示を受けた場合はこの限りではない。

- (1) 測量法（平成23年6月改正）及び施行規則（平成25年4月改正 国土交通省）
- (2) 〇〇県公共測量作業規程（公共測量作業規程の準則に準じる）
- (3) 林野庁測定規程（平成 26 年4 月改正 林野庁）
- (4) 航空法（平成23年5月改正）及び航空法施行規則（平成26年2月改正 国土交通省）
- (5) 〇〇県共通仕様書（平成 年 月）
- (6) 〇〇県林業土木調査等業務仕様書（平成 年 月）
- (7) その他関係法令、規則、通達等

第6条（検査及び瑕疵）

- (1) 受託者は完了検査を受ける際、事前に関係書類を提出の上、速やかに検査を受けなければならない。
- (2) 前項の検査に合格しない場合には、委託者が指定する期間内に問題箇所の修正を行い、再検査を受けなければならない。
- (3) 本業務を完了し、成果品を引き渡した後においても、その内容に受託者の過失による不良箇所が発見された場合、受託者は責任を持って速やかに修正するものとする。

第7条（成果品の帰属）

本業務の成果品は、「著作権法（昭和 45 年 5 月 6 日法律第 48 号）第 21 条から第 28 条及び第 47 条 3 に定める全ての権利並びに民法（明治 29 年 4 月 27 日法律第 89 号）第 206 条に定める所有権（以下、「著作権等」という。）を委託者が有する。

また、受託者は本業務の成果品を、委託者の許可なく第三者に複写、公表、貸与及び使用してはならない。

第8条（その他）

本業務特記仕様書、そのほか設計図書に記載のない詳細な項目、内容等については、委託者と受託者の協議のうえ決定し実施することとする。

航空レーザ計測面積については、1/2,500図郭（2 k m×1.5 k m）の1/4図郭（1 k m×0.75 k m）単位を包括する範囲とし、契約締結後、実施計画の段階で当初契約（計画）面積と異なる場合は協議して進めることとする。

第2章 業務概要

第9条（業務概要）

本業務の概要は次のとおりとする。

- ① 全体計画
- ② 航空レーザ計測
- ③ 調整用基準点の設置
- ④ 三次元計測データ及びオリジナルデータ作成
- ⑤ グラウンドデータ作成
- ⑥ グリッド(標高)データ作成
- ⑦ 等高線データ作成
- ⑧ 数値地形図データファイル作成

第3章 業務内容

第10条（全体計画）

本業務の実施にあたり、業務の目的及び趣旨を十分に理解したうえで、適切な工程計画・使用機器・技術者の配置等を立案し、関係機関への手続き等を行う。

第11条（航空レーザ計測）

本業務の対象範囲は、別添図に示す。航空レーザ計測は「△△地区」の○有林域すべてを面的に網羅する範囲で実施する。また、調整用基準点の数量は○有林面積に応じた数量とし、飛び地では適宜調整用基準点を配置するものとする。加えて、グラウンドデータ以降の作業は○有林域を対象とする。なお、本条項に示す（3）調整用基準点の設置、（6）グラウンドデータ作成、（7）グリッドデータ作成、（8）数値地形図データファイル作成及び成果等の整理については、後続作業を考慮し、協議により数量変更が生じた場合は、設計変更の対象とする場合がある。

（1）計測計画

航空レーザ計測の工程全体について、作業の方法、使用する機器、要員、日程等について適切な計画を立案するとともに関係機関への諸手続きを行う。また、計測計画は監督職員の承認を受けるものとする。

なお、使用するレーザ機器は6ヶ月以内にキャリブレーションサイトでの機器点検を行ったものを用いるものとし、計測前にキャリブレーション結果を監督職員に報告するものとする。

（2）航空レーザ計測作業

航空レーザ計測システムを搭載した航空機にて、対象地域の森林・地形等を計測する。

① 航空レーザ計測システムの仕様

- a. シングルパルス発射頻度が最大10万発/秒以上の機能を有すること。
- b. デジタルカメラを同時搭載し、1,800万画素以上でR G B画像が取得できること。

② 計測の仕様

- a. 計測密度は、4点/m²以上に設定する。
- b. レーザスキャナの位置を連続キネマティックGNSS測量で求めるため、地上のGNSS基準局を選点し、レーザ計測との同時観測を行う。なお、GNSS基準局として電子基準点を用いることができるものとする。

（3）調整用基準点の計測

三次元地形データの座標値との標高誤差を調整するために使用する基準点を設置の上、計測を行う。調整用基準点は原則として広く平坦な箇所に設置するものとし、設置点数は25 k m²に1点以上とする。又、隣接する計測区域と重なる基準点を計画し、監督職員の承認を得るものとする。なお、地形状況により、設置が不可能であると判断された場合は、監督職員と協議の上で計測区域外に設置を認めることとする。

（4）三次元計測データ作成及びオリジナルデータ作成

航空レーザ計測で取得したデータの照射角、ジャイロ回転角、加速度、空中GNSS情報及び地上GNSS情報を統合させ、各計測ポイントの3成分（XYH）を解析し三次元計測データを作成する。

計測データについて、調整用基準点との標高較差の比較点検及び計測コース間の標高較差の比較

点検を行い、規定値を超える場合は是正処置を講ずるものとする。

オリジナルデータは、三次元計測データから作成し、ノイズ（異常標高値）の除去を行う。

また、1/2,500 国土基本図図郭の 1/4 図郭（1 k m×0.75 k m）毎に作成する。

なお、データ形式はテキスト形式に加え、LAS 形式とする。フォーマットはLASver1.0以上とする。

航空レーザ計測で同時に取得したデジタル空中写真から、航空レーザ用写真地図データ（地上解像度25～50cm/pixel）を作成する。

（５）グラウンドデータ作成

オリジナルデータからフィルタリング処理を行い、地表面の高さを示すデータを作成する。自動フィルタリングを行い、その後に手動フィルタリングを行う。手動フィルタリングでは陰影図などの地形表現手法で地盤面形状の確認を行い精度向上に努めるものとする。

（６）グリッド（標高）データ作成

グリッドデータは、グラウンドデータから内挿補間により0.5mグリッドで作成するものとする。

データ形式は、X,Y,Z をカンマ区切りで記録した CSV 形式（メッシュ構造）、および XYZ をスペース区切りで記録したテキスト形式とする。

（７）等高線データ作成

グリッドデータを用いて、1m間隔の等高線データを作成するものとする。

（８）数値地形図データファイル作成

製品仕様書に従って下記の数値地形図データファイルを作成するとともに、作業記録、品質評価表、メタデータ等を作成するものとする。

- ① オリジナルデータ
 - ② グラウンドデータ
 - ③ グリッドデータ
 - ④ 水部ポリゴンデータ
 - ⑤ 航空レーザ用写真地図データ
 - ⑥ 位置情報ファイル
 - ⑦ 格納データリスト
 - ⑧ 等高線データ
 - ⑨ 低密度ポリゴン
- （９）低密度ポリゴンの作成

低密度ポリゴンデータは、フィルタリング結果を用いてグラウンドデータが低密度になった範囲を対象に作成するものとする。

第4章 成 果 品

第12条（検定）

納入する成果については、検定機関の検定を受け、同機関の発行する検定証明書及び測量成果品検定記録書（品質管理図を含む）を提出すること。また、検定機関において実施するグラウンドデータの検定（目視点検）は、社内検査を受けたフィルタリング点検用出力図（A 0 判）を検定機関に提出して実施すること。

なお、検定対象範囲は計測面積の2%を対象とし、対象箇所は検定機関提出前に委託者が指定する。

第13条（納品成果品）本業務の成果品は下記のとおりとする。

（１）航空レーザ計測成果品

① 数値地形図データファイル

- a. オリジナルデータ（Las Data を含む）
- b. グラウンドデータ
- c. グリッドデータ
- d. 水部ポリゴンデータ
- e. 航空レーザ用写真地図データ
- f. 位置情報ファイル
- g. 格納データリスト
- h. 等高線データ

② 作業記録・精度管理表

③ 品質評価表

④ メタデータ

（２）その他監督職員が指示するもの

3.2 製品仕様書例

地理空間データ製品仕様書 ■■航空レーザ測量業務委託

201X 年 X 月
〇〇県□□□部
+++++++ 課

目次

1. 概覧	31
1.1. 空間データ製品仕様書の作成情報	31
1.2. 目的	31
1.3. 空間範囲	31
1.4. 時間範囲	31
1.5. 引用規格	31
1.6. 用語と定義	31
1.7. 略語	31
2. 適用範囲	31
2.1. 適用範囲識別	31
2.2. 階層レベル	31
3. データ製品識別	31
3.1. 空間データ製品の名称	31
3.2. 日付	31
3.3. 問合せ先	31
3.4. 地理記述	31
4. データ内容及び構造	32
4.1. 応用スキーマUMLクラス図	32
4.2. 応用スキーマ文書	33
5. 参照系	39
5.1. 空間参照系	39
5.2. 時間参照系	39
6. データ品質	39
7. データ製品配布	43
7.1. 書式名称	43
7.2. 符号化仕様	43
7.3. 文字集合	43
7.4. 言語	43
7.5. 配布単位	43
7.6. 配布媒体名	43
8. メタデータ	44
8.1. メタデータの形式	44
<別紙>	45

1. 概覧

1.1. 空間データ製品仕様書の作成情報

- 航空レーザ測量数値地形図データ製品仕様書
- 201X年X月
- ○○県□□部+++++++課

1.2. 目的

本業務は、「△△地区」の○有林域において、航空レーザ測量による地形データの収集を行うものである。

なお本業務において収集した各種データは森林地域における地形解析(標高や傾斜等)及び森林資源情報解析(立木本数、樹種、樹高、林分垂直構造等)の基礎データとして使用する。

1.3. 空間範囲

地理要素:地理境界ボックス	範囲参照系:JGD2011 / ●(X,Y),H
東側境界座標:-54000	西側境界座標:-96000
南側境界座標:-51000	北側境界座標:15000

1.4. 時間範囲

期間の始まり:201X-01-01	期間の終わり:201X-03-10
-------------------	-------------------

1.5. 引用規格

- 測量法
- ●●県公共測量作業規程
- 林野庁測定規程
- JPGIS2014

1.6. 用語と定義

JPGIS2014 附属書5(規程)定義

1.7. 略語

JPGIS	Japan Profile for Geographic Information Standards(地理情報標準プロファイル)
PDF	Portable Document Format
TIFF	Tag Image File Format
TFW	Tiff WorldFile Format
CSV	Comma Separated Values
LAS	LIDAR Standard format
DXF	Drawing Exchange Format

2. 適用範囲

2.1. 適用範囲識別

航空レーザ測量数値地形図データ製品仕様書適用範囲

2.2. 階層レベル

データ集合

3. データ製品識別

3.1. 空間データ製品の名称

航空レーザ測量数値地形図データ

3.2. 日付

201X-03-10

3.3. 問合せ先

○○県□□部×××××課

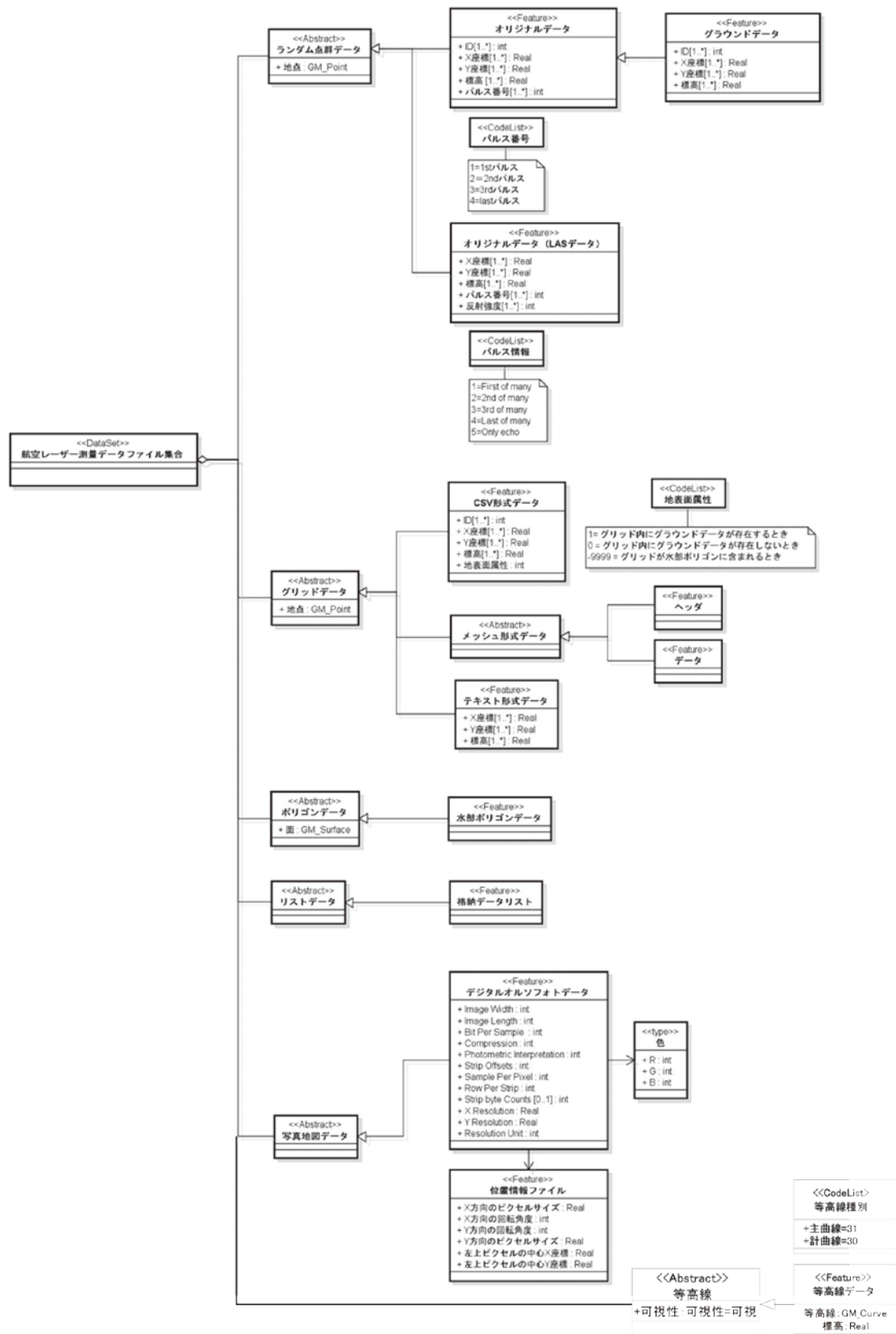
3.4. 地理記述

「平成 ** 年度■■航空レーザ測量業務委託特記仕様書」による

○○県△△地区4. データ内容及び構造

4. データ内容及び構造

4.1. 応用スキーマUMLクラス図



4.2. 応用スキーマ文書

(1) 航空レーザ測量データファイル集合

定義：航空レーザ測量により作成される各種数値地形図データの集合

抽象/具象区分：抽象

(2) ランダム点群データ

定義：三次元位置情報(XYZ)を所有するランダム点群データ

上位クラス：航空レーザ測量データファイル集合

抽象/具象区分：抽象

属性：

地点：GM_Point

定義：レーザパルス1点ごとの水平座標位置および標高値

(3) オリジナルデータ

定義：調整用基準点の点検結果に基づき、三次元計測データの標高を調整したランダム点群データ

上位クラス：ランダム点群データ

抽象/具象区分：具象

属性：

ID[1..*] : int

定義：ランダム点群の点番号

定義域：ファイル内でユニークな一連番号とし、整数値とする。

X座標[1..*] : Real

定義：ランダム点群のX座標(単位:m)

定義域：小数点以下2桁までとする

Y座標[1..*] : Real

定義：ランダム点群のY座標(単位:m)

定義域：以下2桁までとする

標高[1..*] : Real

定義：ランダム点群の標高値(単位:m)

定義域：小数点以下2桁までとする

パルス番号[1..*] : int

定義：1:1stパルスデータ

2:2ndパルスデータ

3:3rdパルスデータ

・

・

・

n:n番目のパルスデータ

定義域：整数であることとする

(4) オリジナルデータ(LASデータ)

定義：調整用基準点の点検結果に基づき、三次元計測データの標高を調整したランダム点群データ。

LAS形式Ver1.0以上。

上位クラス：ランダム点群データ

抽象/具象区分：具象

属性：

X座標[1..*]：Real

定義：ランダム点群のX座標(単位:m)

定義域：小数点以下2桁までとする

Y座標[1..*]：Real

定義：ランダム点群のY座標(単位:m)

定義域：小数点以下2桁までとする

標高[1..*]：Real

定義：ランダム点群の標高値(単位:m)

定義域：小数点以下2桁までとする

反射強度[1..*]：int

定義：各パルスの反射強度を数値化したもの

定義域：0～255

パルス番号[1..*]：int

定義：1:First of many or Single return

2:2nd of many

3:3rd of many

・

・

・

n:n th of many

定義域：整数値であることとする

(5) グラウンドデータ

定義：オリジナルデータのうち地表面の標高を示すランダム点群データ

上位クラス：オリジナルデータ

抽象/具象区分：具象

属性：

ID[1..*]：int

定義：ランダム点群の点番号

定義域：各点のIDは、オリジナルデータと同一座標について同一番号とする。

X座標[1..*]：Real

定義：ランダム点群のX座標(単位:m)

定義域：小数点以下2桁までとする

Y座標[1..*]：Real

定義：ランダム点群のY座標(単位:m)

定義域：小数点以下2桁までとする

標高[1..*] : Real

定義 : ランダム点群の標高値(単位:m)

定義域: 小数点以下2桁までとする

(6) グリッドデータ

定義: グラウンドデータに内挿補間を施すことで作成される任意の格子間隔(0.5m)に配置された三次元座標(XYZ)の集合

上位クラス: 航空レーザ測量データファイル集合

抽象/具象区分: 抽象

属性:

地点: GM_Point

定義: 任意の格子間隔に配置された三次元座標値(XYZ)

(7) CSV形式データ

定義: 任意の格子間隔に配置された三次元座標(XYZ)に地表面属性が付与されたカンマ区切りデータ

上位クラス: グリッドデータ

抽象/具象区分: 具象

属性:

ID[1..*] : int

定義 : グリッド構成点の点番号

定義域: 各点のIDはファイル内でユニークな一連番号とする

X座標[1..*] : Real

定義 : グリッド構成点のX座標(単位:m)

定義域: 小数点以下2桁までとする

Y座標[1..*] : Real

定義 : グリッド構成点のY座標(単位:m)

定義域: 小数点以下2桁までとする

標高[1..*] : Real

定義 : グリッド構成点の標高値(単位:m)

定義域: 小数点以下2桁までとする

地表面属性コード[1..*] : int

定義 : グリッド内にグラウンドデータが存在するとき(真)とそれ以外のデータ(偽)に分け、また水部ポリゴンに含まれるとき(水部)とし、それぞれ属性値を真のときは1、偽のときは0、水部のときは-9999を付すものとする。

定義域: 定められた地表面属性コードの数値域内であることとする

(8) メッシュ形式データ

定義: 任意の格子間隔に配置された三次元座標(XYZ)データで、ヘッダとデータの2ファイルからなる

上位クラス: グリッドデータ

抽象/具象区分: 抽象

(9) ヘッダ

定義： 測量年、東西方向の点数・データ間隔、区画座標、レコード数等が記録されたCSV形式データ
上位クラス： メッシュ形式データ
抽象/具象区分： 具象

(10) データ

定義： レコード番号および標高値が北→南、西→東の順に羅列されたデータ
上位クラス： メッシュ形式データ
抽象/具象区分： 具象

(11) テキスト形式データ

定義： 任意の格子間隔に配置された三次元座標(XYZ)に地表面属性が付与された
スペース区切りデータ
上位クラス： グリッドデータ
抽象/具象区分： 具象
属性：

X座標[1..*]：Real

定義： グリッド構成点のX座標(単位:m)

定義域： 小数点以下2桁までとする

Y座標[1..*]：Real

定義： グリッド構成点のY座標(単位:m)

定義域： 小数点以下2桁までとする

標高[1..*]：Real

定義： グリッド構成点の標高値(単位:m)

定義域： 小数点以下2桁までとする

(12) ポリゴンデータ

定義： 地物の境界となる線の終点を始点と閉合させ、領域をつくった面データ
上位クラス： 航空レーザ測量データファイル集合
抽象/具象区分： 抽象
属性：
面： GM_Surface
定義： 地物の領域を表す面

(13) 水部ポリゴン

定義： 航空レーザ用写真地図データを背景として水域をトレースして作成されるポリゴンデータ
上位クラス： ポリゴンデータ
抽象/具象区分： 具象

(14) リストデータ

定義： ファイル一覧データ
上位クラス： 航空レーザ測量データファイル集合
抽象/具象区分： 抽象

(15) 格納データリスト

定義 : 航空レーザ測量データファイル集合のデータファイル作成単位である1:2,500国土基本図の1/4図
郭名リスト

上位クラス : 航空レーザ測量データファイル集合

抽象/具象区分 : 具象

(16) 航空レーザ用写真地図データ

定義 : デジタルオルソフォトおよび位置情報ファイルにより構成される

上位クラス : 航空レーザ測量データファイル集合

抽象/具象区分 : 抽象

(17) デジタルオルソフォトデータ

定義 : 数値化空中写真の各画素を外部標定要素と数値地形モデルを用いてコンピュータプログラムにより正射投影変換した画像

上位クラス : 航空レーザ用写真地図データ

抽象/具象区分 : 具象

属性 :

Image Width: int

定義 : X方向の画像サイズ(単位:m)

定義域: 1,000

Image Length: int

定義 : Y方向の画像サイズ(単位:m)

定義域: 750

Bits per Sample: Int

定義 : 画像の色調ビット数

定義域: R,G,B=8,8,8(Full Colour Images)

Compression: int

定義 : 画像の圧縮方法

定義域: 1:非圧縮、32773:Packbits

Photometric Interpretation: int

定義 : 色調表現

定義域: 2(0:白が輝度0、1:黒が輝度0、2:RGB)

X Resolution: Real

定義 : X方向解像度(単位:m)

定義域: 0.25~0.5

Y Resolution: Real

定義 : Y方向解像度(単位:m)

定義域: 0.25~0.5

Resolution Unit: Int

定義 : 解像度単位

定義域: 2(1:単位なし、2:メートル)

(18) 位置情報ファイル

定義: デジタルオルソフォトの位置情報を表す位置情報ファイル

上位クラス: 航空レーザ用写真地図データ

抽象/具象区分: 具象

属性:

X方向のピクセルサイズ: Real

定義 : デジタルオルソフォトのX方向のピクセルサイズ(単位:m)

定義域: 小数点以下2桁までとする

X方向の回転角度: Int

定義 : デジタルオルソフォトのX軸周りの回転角度(単位:度)

定義域: 0~360までの整数値とする

Y方向の回転角度: Int

定義 : デジタルオルソフォトのY軸周りの回転角度(単位:度)

定義域: 0~360までの整数値とする

Y方向のピクセルサイズ: Real

定義 : デジタルオルソフォトのY方向のピクセルサイズ(単位:m)

定義域: 小数点以下2桁までとする

左上ピクセルの中心X座標

定義 : デジタルオルソフォトの左上ピクセルの中心X座標 (単位:m)

定義域: 小数点以下2桁までとする

左上ピクセルの中心Y座標

定義 : デジタルオルソフォトの左上ピクセルの中心Y座標 (単位:m)

定義域: 小数点以下2桁までとする

(19) 色

定義: デジタルオルソフォトを表現する画素の値

上位クラス: デジタルオルソフォトデータ

抽象/具象区分: 具象

属性:

R: Int

定義 : 赤

定義域: 0~255

G: Int

定義 : 緑

定義域: 0~255

B: Int

定義 : 青

定義域: 0~255

(20) 等高線データ

定義: 平均海面(0m)から起算して1mごとに標高の等しい点の軌跡として描かれる曲線で、計曲線、主曲線が含まれる。

上位クラス: 航空レーザ測量データファイル集合

抽象/具象区分: 抽象

属性:

地点: GM_Curve

定義: 等高線の場合

取得基準: 等高線の真位置を取得する

標高値: Real

5. 参照系

5.1. 空間参照系

参照系識別子: JGD2011, TP / ●(X, Y), H

5.2. 時間参照系

参照系識別子: GC / JST

6. データ品質

完全性・過剰

データ品質適用範囲	オリジナルデータ
データ品質評価尺度	データ範囲過剰
データ品質評価手法	データファイル集合に含まれる各種データのデータ範囲と特記仕様に定められた当該データの整備範囲を照合し、過剰なデータを含むファイルの割合(誤率)を算出する。 誤率(%)=エラーファイル数÷検査ファイル数×100
適合品質水準	誤率:0%

データ品質適用範囲	グラウンドデータ、グリッドデータ(CSV形式データ)
データ品質評価尺度	標高点の過剰作成
データ品質評価手法	同一位置の標高点が存在しないか確認し、重複した標高点をもつファイルをエラーファイルとして抽出し、その割合(誤率)を算出する。 誤率(%)=エラーファイル数÷検査ファイル数×100
適合品質水準	誤率:0%

データ品質適用範囲	水部ポリゴン
データ品質評価尺度	水部ポリゴンの過剰取得
データ品質評価手法	航空レーザ用写真地図データと水部ポリゴンデータの重ね合せ図を用いて水部以外の領域で取得されている水部ポリゴンを1/2,500国土基本図郭の1/4図郭単位に抽出し、水部ポリゴンが過剰に取得されている図郭をエラー図郭としてその割合(誤率)を算出する。 誤率(%)=エラー図郭÷検査図郭数×100
適合品質水準	誤率:0%

データ品質適用範囲	位置情報ファイル
データ品質評価尺度	位置情報ファイルの過剰作成
データ品質評価手法	デジタルオルソファイルと位置情報ファイルを照合し、過剰に存在するファイルをエラーファイルとして抽出し、その割合(誤率)を算出する 誤率(%)=エラーファイル数÷検査ファイル数×100
適合品質水準	誤率:0%

データ品質適用範囲	格納データリスト
データ品質評価尺度	1/2,500国土基本図郭名の1/4図郭の過剰記録
データ品質評価手法	各種データファイルに命名されている1/2,500国土基本図郭名の1/4図郭名と格納データリストに記録されている図郭名を照合し、データファイルに含まれない図郭名を抽出する。
適合品質水準	過剰図郭名が存在しない

データ品質適用範囲	等高線データ
データ品質評価尺度	等高線データの過剰作成
データ品質評価手法	データファイル集合に含まれる各種データのデータ範囲と特記仕様に定められた当該データの整備範囲を照合し、同一の標高値における重複した等高線データを含むファイルの割合(誤率)を算出する。 誤率(%)=エラーファイル数÷検査ファイル数×100
適合品質水準	誤率:0%

完全性・漏れ

データ品質適用範囲	オリジナルデータ
データ品質評価尺度	データ範囲の漏れ
データ品質評価手法	データファイル集合に含まれる各種データのデータ範囲と特記仕様に定められた当該データの整備範囲を照合し、範囲が満たされていないデータファイルをエラーファイルとして抽出し、その割合(誤率)を算出する。 誤率(%)=エラーファイル数÷検査ファイル数×100
適合品質水準	誤率:0%

データ品質適用範囲	グリッドデータ
データ品質評価尺度	標高点の漏れ
データ品質評価手法	グリッドデータと整備範囲を照合し、整備範囲内における標高点の欠落箇所があるファイルをエラーファイルとして抽出し、その割合(誤率)を計算する。 誤率=(エラーファイル数÷検査ファイル)×100
適合品質水準	誤率:0%

データ品質適用範囲	水部ポリゴンデータ
データ品質評価尺度	水部ポリゴンの取得漏れ
データ品質評価手法	航空レーザ用写真地図データと水部ポリゴンデータの重ね合せ図を用いて水部ポリゴンの取得漏れ箇所を1/2,500国土基本図郭の1/4図郭単位に抽出し、水部ポリゴンの取得漏れが存在する図郭をエラー図郭としてその割合(誤率)を算出する。 誤率(%)=エラー図郭÷検査図郭数×100
適合品質水準	誤率:0%

データ品質適用範囲	格納データリスト
データ品質評価尺度	図郭名の漏れ
データ品質評価手法	各種データファイルに命名されている1/2,500国土基本図郭名の1/4図郭と格納データリストに記録されている図郭名を照合し、図郭名に漏れが無い確認する
適合品質水準	過剰図郭名が存在しない

データ品質適用範囲	等高線データ
-----------	--------

データ品質評価尺度	等高線データの漏れ
データ品質評価手法	等高線データと整備範囲を照合し、整備範囲内における等高線データの欠落箇所があるファイルをエラーファイルとして抽出し、その割合(誤率)を計算する。 誤率=(エラーファイル数÷検査ファイル)×100
適合品質水準	誤率:0%

論理一貫性・書式一貫性

データ品質適用範囲	データファイル集合(全体)
データ品質評価尺度	データファイル集合の書式一貫性
データ品質評価手法	データファイル集合が製品仕様書に定められた書式に適合しているか検査し、適合していないデータファイルをエラーファイルとしてその割合(誤率)を算出する。 誤率(%)=エラーファイル数÷検査ファイル数×100
適合品質水準	誤率:0%

論理一貫性・概念一貫性

データ品質適用範囲	オリジナルデータ
データ品質評価尺度	データファイル集合の概念一貫性 データファイルが、ファイル仕様と異なっている矛盾の割合(誤率)を計算する。次の場合は、エラーとする。 重複したIDがある XYZの有効桁数が小数点第3位以上ある。
データ品質評価手法	データファイルが指定されたファイル仕様に適合しているか、検査プログラムによって評価する。ファイル仕様に適合していないデータファイルをエラーファイルとしてその割合(誤率)を算出する。 誤率(%)=エラーファイル数÷検査ファイル数×100
適合品質水準	誤率:0%

データ品質適用範囲	グラウンドデータ
データ品質評価尺度	データファイル集合の概念一貫性 データファイルが、ファイル仕様と異なっている矛盾の割合(誤率)を計算する。次の場合は、エラーとする。 重複したIDがある。 XYZの有効桁数が小数点第3位以上ある。
データ品質評価手法	データファイルが指定されたファイル仕様に適合しているか、検査プログラムによって評価する。ファイル仕様に適合していないデータファイルをエラーファイルとしてその割合(誤率)を算出する。 誤率(%)=エラーファイル数÷検査ファイル数×100
適合品質水準	誤率:0%

データ品質適用範囲	グリッドデータ(CSV形式)
データ品質評価尺度	データファイル集合の概念一貫性
データ品質評価手法	データファイルが、ファイル仕様と異なっている矛盾の割合(誤率)を計算する。次の場合は、エラーとする。 重複したIDがある。 XYZの有効桁数が小数点第3位以上ある。 左上から右下の順に記載されていない。 グリッドの位置がメッシュの中心ではない。
適合品質水準	データファイルが指定されたファイル仕様に適合しているか、検査プログラムによって評価する。ファイル仕様に適合しないデータファイルをエラーファイルとしてその割合(誤率)を算出する。 誤率(%)=エラーファイル数÷検査ファイル数×100
適合品質水準	誤率:0%

論理一貫性・定義域一貫性

データ品質適用範囲	データファイル集合(全体)
データ品質評価尺度	データファイル集合の定義域一貫性
データ品質評価手法	データファイル集合が保持する地物属性が、製品仕様書の応用スキーマに定められた定義域(値域)にあるか検査し、データファイル集合中の定義域以外の値を含むファイルをエラーファイルとして、その割合を算出する。
適合品質水準	誤率(%)=エラーファイル数÷検査ファイル数×100
適合品質水準	誤率:0%

位置正確度・絶対正確度

データ品質適用範囲	オリジナルデータ
データ品質評価尺度	オリジナルデータ標高値の絶対正確度
データ品質評価手法	オリジナルデータの標高値(グリッドデータの格子間隔と同一半径の円又は2倍辺長の計測データを平均したもの)と調整用基準点の標高値との較差を算出し、以下の基準値以内であることを検査する。 ・較差の平均値・・・±25cm以内 ・較差の標準偏差・・・25cm以内
適合品質水準	基準値以内であること

位置正確度・相対正確度

データ品質適用範囲	オリジナルデータ
データ品質評価尺度	オリジナルデータ標高値の相対正確度
データ品質評価手法	オリジナルデータのコース間重複部分についてお互いの標高値(グリッドデータの格子間隔と同一半径の円又は2倍辺長の計測データを平均したもの)の較差の平均値を算出し、以下の基準値以内であることを検査する。 ・較差の平均値・・・±30cm以内
適合品質水準	基準値以内であること

データ品質適用範囲	グリッドデータ
データ品質評価尺度	グリッドデータ間隔の正確度
データ品質評価手法	グリッドデータの標高点が所定の間隔で適切な位置に配置されているか検査を行う。所定の間隔で配置されていない標高点を含むファイルをエラーファイルとし、その割合を算出する。 誤率(%)=エラーファイル数÷検査ファイル数×100
適合品質水準	誤率:0%

データ品質適用範囲	オルソフォトデータ
データ品質評価尺度	オルソフォトデータの相対正確度
データ品質評価手法	オルソフォトデータに地形との不整合が存在しないか目視による検査を行う。上記エラーが存在するファイルをエラーファイルとし、その割合(誤率)を算出する。 誤率(%)=エラーファイル数÷検査ファイル数×100
適合品質水準	誤率:0%

データ品質適用範囲	水部ポリゴンデータ
データ品質評価尺度	水部ポリゴンの相対正確度
データ品質評価手法	航空レーザ用写真地図データと水部ポリゴンデータの重ね合せ図を使用し、1/2,500国土基本図郭単位で航空レーザ用写真地図データの水部境界と水部ポリゴンの境界が一致しているかを検査する。両者の境界が一致しない水部ポリゴンを有する図郭をエラー図郭とし、その割合(誤率)を算出する。 誤率(%)=エラー図郭数÷検査図郭数×100
適合品質水準	誤率:0%

主題正確度・分類の正しさ

データ品質適用範囲	グラウンドデータ
データ品質評価尺度	フィルタリング(地物除去)結果の良否
データ品質評価手法	1/2,500国土基本図郭単位のフィルタリング点検図を用いて目視によりフィルタリング結果の検査を行う。検査項目は以下のものとする。 1.航空レーザ用写真地図データで判読できる植生や橋、建物等の人工構造物に不要な等高線データが存在していないか 2.航空レーザ用写真地図データで判読できる植生や橋、建物等の人工構造物にグラウンドデータとして採用された点が存在しないか 不適切なフィルタリング結果が認められた図郭をエラー図郭とし、その割合(誤率)を算出する。 誤率(%)=エラー図郭数÷検査図郭数×100
適合品質水準	誤率:0%

主題正確度・非定量的主題属性の正しさ

データ品質適用範囲	グリッドデータ(CSV形式)
データ品質評価尺度	地表面属性の正確性
データ品質評価手法	グリッドデータ、グラウンドデータ、水部ポリゴンデータを検査プログラムによって照合し、誤った地表面属性を保持するデータが含まれるファイルをエラーファイルとし、その割合を算出する 誤率(%)=エラーファイル数÷検査ファイル数×100
適合品質水準	誤率:0%

7. データ製品配布

7.1. 書式名称

TIFF形式
TFW形式
SHP形式(ESRI Shapefile Technical Descriptionによる)
PDF形式
TXT形式(ASCIIファイル)
LAS形式
DXF形式(Drawing Exchange Formatによる)

7.2. 符号化仕様

- オリジナルデータ
TXT形式:別紙に基づくテキスト形式による符号化。
LAS形式:LAS Specification Version1.●に基づく符号化。
- グラウンドデータ
TXT形式:別紙に基づくテキスト形式による符号化。
- グリッドデータ
TXT形式:別紙に基づくテキスト形式による符号化。
- 水部ポリゴン
ESRI Shapefile Technical DescriptionによるSHP形式もしくはCSV形式による符号化。
- 航空レーザ用写真地図データ
TIFF形式:TIFF Revision 6.0に基づく符号化規則。
- 位置情報ファイル
TFW形式:米国ESRI社が提唱しているワールドファイル仕様に基づく符号化規則。
- 格納データリスト
TXT形式:別紙に基づくテキスト形式による符号化。
- 等高線データ
DXF形式:Drawing Exchange Formatによる符号化規則。

7.3. 文字集合

Shift_JIS

7.4. 言語

日本語

7.5. 配布単位

- 1/2,500国土基本図郭の1/4単位

7.6. 配布媒体名

HDD

8. メタデータ

8.1. メタデータの形式

JMP2.0

<別紙>

1. 数値地形図データファイルのフォーマットは次のとおりである。

(1) データ共通事項

水平原子	世界測地系の平面直角座標第Ⅷ系(JGD2011/XY●)
垂直原子	東京湾平均海面を基準とする海拔標高
ファイル単位	国土基本図郭2500レベル(東西2km×南北1.5km)を4分割した図郭(東西1km×南北0.75km)とし、北西が1、北東が2、南西が3、南東が4と番号をつける
ファイル名	ファイル名の****には、国土基本図郭名(例:08lc7511)が入る
x、y座標軸	測地座標軸ではなく数学(幾何)座標軸

(2) オリジナルデータ

データ形式	CSV形式(半角英数字テキスト)
データ書式	id,x,y,z,p(idはファイル内でユニークな一連番号pはパルス識別番号)
x、y	計測点座標値(m単位で小数点以下第2位まで)
z	計測点標高値(m単位で小数点以下第2位まで)
ファイル名	****_org.txt

(3) グラウンドデータ

データ形式	CSV形式(半角英数字テキスト)
データ書式	id,x,y,z(idはファイル内でユニークな一連番号)
x、y	計測点座標値(m単位で小数点以下第2位まで)
z	計測点標高値(m単位で小数点以下第2位まで)
ファイル名	****_grd.txt

(4) グリッドデータ(CSV形式)

データ形式	CSV形式(半角英数字テキスト)
データ書式	id,x,y,z,A(idはファイル内でユニークな一連番号、Aは地表面属性値)
x、y	メッシュ中心点座標値(m単位で小数点以下第2位まで)
z	メッシュ中心点標高値(m単位で小数点以下第2位まで)
A	グリッド内にグラウンドデータが存在する場合:1 グリッド内にグラウンドデータが存在しない場合:0 グリッドが水域に含まれる場合:-9999
ファイル名	****_05g.txt

(5)グリッドデータ(メッシュ形式)

データ形式	ヘッダ(csv形式、拡張子:csv) データ(テキスト形式、拡張子:lem)																																																																													
データ書式 「ヘッダ」	<ヘッダのフォーマット>																																																																													
	項目	データ形式	内容	測量年	整数	西暦	修正年	整数	西暦	東西方向の点数	整数	東西方向のデータ点数	南北方向の点数	整数	南北方向のデータ点数	東西方向のデータ間隔	整数	m単位	南北方向のデータ間隔	整数	m単位	区画左下の緯度	小数点以下第3位まで	DDDMSS.SSS	区画左下の経度	小数点以下第3位まで	DDDMSS.SSS	区画右下の緯度	小数点以下第3位まで	DDDMSS.SSS	区画右下の経度	小数点以下第3位まで	DDDMSS.SSS	区画右上の緯度	小数点以下第3位まで	DDDMSS.SSS	区画右上の経度	小数点以下第3位まで	DDDMSS.SSS	区画左上の緯度	小数点以下第3位まで	DDDMSS.SSS	区画左上の経度	小数点以下第3位まで	DDDMSS.SSS	図名	テキスト	2千5百分1国土基本図名	記録レコード数	整数	データファイルに記録されているレコード数	座標系番号	整数	平面直角座標系の番号	区画左下X座標	整数	平面直角座標(c m単位)	区画左下Y座標	整数	平面直角座標(c m単位)	区画右上X座標	整数	平面直角座標(c m単位)	区画右上Y座標	整数	平面直角座標(c m単位)	コメント	テキスト	利用の際に参考となる情報を記録	レコード1のフラグ	整数	当該レコードが記述されている場合「1」、記述されていない場合「0」	：		最終レコードのフラグ	整数	経緯度数値の表示は、45度35分0秒123は「453500.123」、135度0分0秒25は「1350000.250」となる。	
	項目	データ形式	内容																																																																											
	測量年	整数	西暦																																																																											
	修正年	整数	西暦																																																																											
	東西方向の点数	整数	東西方向のデータ点数																																																																											
	南北方向の点数	整数	南北方向のデータ点数																																																																											
	東西方向のデータ間隔	整数	m単位																																																																											
	南北方向のデータ間隔	整数	m単位																																																																											
	区画左下の緯度	小数点以下第3位まで	DDDMSS.SSS																																																																											
	区画左下の経度	小数点以下第3位まで	DDDMSS.SSS																																																																											
	区画右下の緯度	小数点以下第3位まで	DDDMSS.SSS																																																																											
	区画右下の経度	小数点以下第3位まで	DDDMSS.SSS																																																																											
	区画右上の緯度	小数点以下第3位まで	DDDMSS.SSS																																																																											
	区画右上の経度	小数点以下第3位まで	DDDMSS.SSS																																																																											
	区画左上の緯度	小数点以下第3位まで	DDDMSS.SSS																																																																											
	区画左上の経度	小数点以下第3位まで	DDDMSS.SSS																																																																											
	図名	テキスト	2千5百分1国土基本図名																																																																											
	記録レコード数	整数	データファイルに記録されているレコード数																																																																											
	座標系番号	整数	平面直角座標系の番号																																																																											
	区画左下X座標	整数	平面直角座標(c m単位)																																																																											
	区画左下Y座標	整数	平面直角座標(c m単位)																																																																											
	区画右上X座標	整数	平面直角座標(c m単位)																																																																											
	区画右上Y座標	整数	平面直角座標(c m単位)																																																																											
	コメント	テキスト	利用の際に参考となる情報を記録																																																																											
	レコード1のフラグ	整数	当該レコードが記述されている場合「1」、記述されていない場合「0」																																																																											
	：																																																																													
	最終レコードのフラグ	整数																																																																												
データ書式 「データ」	<データのレコード構成>																																																																													
	レコード1・・・	北																																																																												
	レコード2・・・	123・・・39994000																																																																												
	レコード3・・・	123・・・39994000																																																																												
	：	西	東																																																																											
	レコード2999・・・	123・・・39994000																																																																												
	レコード3000・・・	123・・・39994000																																																																												
	南																																																																													
	1)レコードは北端から南端への順序で並べる。 2)各レコードにはレコード番号、4000個の標高値を順に記述する。 3)各レコード毎に復帰・改行コードで区切る。																																																																													
	<データのフォーマット>																																																																													
	項目	開始	終了	仕様	内容	空き領域	1	6	6X		レコード番号	7	10	I4	北→南の順	標高値1	11	15	I5	西→東の順。 単位は10cm。 海部及び陸水部の場合、-9999を記述。	標高値2	16	20	I5	標高値3	21	25	I5	：	・	・	・	標高値3999	3996	4000	I5		標高値4000	4001	4005	I5	復帰・改行				レコードは「CR」、「LF」で区切る	1)標高値は0.1m単位で表現する(100.0mは「△1000」、△:空白)。 2)海部及び水部の場合「-9999」を記述する。 3)各レコードは「CR」「LF」で区切る。 4)「仕様」のI、XはFORTRAN言語の書式仕様のための編集記述子で、それぞれ以下の意味を持つ。 I:指定された整数を10進数表示した各数字(1バイト)が右詰で記録される。 X:空白が埋められる。																															
	項目	開始	終了	仕様	内容																																																																									
	空き領域	1	6	6X																																																																										
	レコード番号	7	10	I4	北→南の順																																																																									
	標高値1	11	15	I5	西→東の順。 単位は10cm。 海部及び陸水部の場合、-9999を記述。																																																																									
	標高値2	16	20	I5																																																																										
	標高値3	21	25	I5																																																																										
	：	・	・	・																																																																										
	標高値3999	3996	4000	I5																																																																										
	標高値4000	4001	4005	I5																																																																										
	復帰・改行				レコードは「CR」、「LF」で区切る																																																																									
	ファイル名	ヘッダ:****.csv、データ:****.lem																																																																												

(6)航空レーザ用写真地図データ(簡易オルソフォト)

地上解像度	GSD=0.25m-0.5m												
データ書式	24bitフルカラー非圧縮TIFF画像形式												
位置情報ファイル	ワールドファイル形式(図郭原点位置は画素中心) <table border="1"> <tr> <td>0.50</td><td>:ピクセルのx方向の長さ(xスケール)</td></tr> <tr> <td>0.00</td><td>:行の回転角度</td></tr> <tr> <td>0.00</td><td>:列の回転角度</td></tr> <tr> <td>-0.50</td><td>:ピクセルのy方向の長さ(yスケール)</td></tr> <tr> <td>-25999.75</td><td>:左上ピクセル中心部のx座標</td></tr> <tr> <td>-7500.25</td><td>:左上ピクセル中心部のy座標</td></tr> </table>	0.50	:ピクセルのx方向の長さ(xスケール)	0.00	:行の回転角度	0.00	:列の回転角度	-0.50	:ピクセルのy方向の長さ(yスケール)	-25999.75	:左上ピクセル中心部のx座標	-7500.25	:左上ピクセル中心部のy座標
0.50	:ピクセルのx方向の長さ(xスケール)												
0.00	:行の回転角度												
0.00	:列の回転角度												
-0.50	:ピクセルのy方向の長さ(yスケール)												
-25999.75	:左上ピクセル中心部のx座標												
-7500.25	:左上ピクセル中心部のy座標												
ファイル名	****.tif、****.tfw												
その他	図郭内画像空白部は白色とする												

(7)水部ポリゴンデータ

データ形式	SHP形式
データ書式	ESRI SHP形式に従う
ファイル名	****_plg.shp

データ形式	ポリゴンの座標を列記したcsv形式																										
データ書式	<table border="1"> <tr> <td>id1,x1,y1</td><td>x1,y1:ラベル(id)の位置。ポリゴン内の任意の位置</td></tr> <tr> <td>x1,y1</td><td>ポリゴンの始点座標値</td></tr> <tr> <td>:</td><td></td></tr> <tr> <td>xn,yn</td><td></td></tr> <tr> <td>x1,y1</td><td>ポリゴンの終点座標値(始点と一致)</td></tr> <tr> <td>end</td><td>ポリゴン終了フラグ</td></tr> <tr> <td>id2,x1,y1</td><td>x1,y1:ラベル(id)の位置。ポリゴン内の任意の位置</td></tr> <tr> <td>x2,y2</td><td>ポリゴンの始点座標値</td></tr> <tr> <td>:</td><td></td></tr> <tr> <td>xn,yn</td><td></td></tr> <tr> <td>x2,y2</td><td>ポリゴンの終点座標値(始点と一致)</td></tr> <tr> <td>end</td><td>ポリゴン終了フラグ</td></tr> <tr> <td>end</td><td>ファイル終了フラグ</td></tr> </table> 島(穴)があるポリゴンでは、当該ポリゴンのラベル位置は、当該ポリゴン内の島(穴)ポリゴン内を除いた任意の場所とし、島(穴)ポリゴンのラベル位置は島(穴)ポリゴン内の任意の場所とする。ポリゴンデータと島(穴)ポリゴンのデータの順番は、連続しなくても良い。	id1,x1,y1	x1,y1:ラベル(id)の位置。ポリゴン内の任意の位置	x1,y1	ポリゴンの始点座標値	:		xn,yn		x1,y1	ポリゴンの終点座標値(始点と一致)	end	ポリゴン終了フラグ	id2,x1,y1	x1,y1:ラベル(id)の位置。ポリゴン内の任意の位置	x2,y2	ポリゴンの始点座標値	:		xn,yn		x2,y2	ポリゴンの終点座標値(始点と一致)	end	ポリゴン終了フラグ	end	ファイル終了フラグ
id1,x1,y1	x1,y1:ラベル(id)の位置。ポリゴン内の任意の位置																										
x1,y1	ポリゴンの始点座標値																										
:																											
xn,yn																											
x1,y1	ポリゴンの終点座標値(始点と一致)																										
end	ポリゴン終了フラグ																										
id2,x1,y1	x1,y1:ラベル(id)の位置。ポリゴン内の任意の位置																										
x2,y2	ポリゴンの始点座標値																										
:																											
xn,yn																											
x2,y2	ポリゴンの終点座標値(始点と一致)																										
end	ポリゴン終了フラグ																										
end	ファイル終了フラグ																										
id	ユニークな一連番号																										
x,y	ポリゴンを構成する座標値(m単位で小数点以下第2位まで)																										
ファイル名	****_plg.txt																										

(8)格納データリスト

データ形式	ファイル名(国土基本図名の1/4図郭)を列記したテキスト形式
データ書式	例) 08lc7511 08lc7532 08lc6541 08lc7522 08lc7541
ファイル名	file_itiran.txt

2. 数値地形図データファイルの他に、以下のフォーマットのデータも整備する。

(1)データ共通事項

水平原子	世界測地系の平面直角座標第●系(JGD2011/XY●)
垂直原子	東京湾平均海面を基準とする海拔標高
ファイル単位	国土基本図郭2500の1/4単位(東西1km×南北0.75km)、
ファイル名	国土基本図郭2500の左上、右上、左下、右下の順に1～4の番号を設定し、国土基本図郭名(例:08lc751)の末尾に付与する。 例:08lc7511、08lc7512、08lc7513、08lc7514
x、y座標軸	測地座標軸ではなく数学(幾何)座標軸

(2)オリジナルデータ(LASデータ)

データ形式	LAS形式Ver1.0以上
データ書式	三次元座標値(x,y,z)の他に、パルス識別番号と反射強度を記録したLASデータとする。 パルス識別番号は整数とし、以下の様に定める。 1:First of many or Single return 2:2nd of many 3:3rdパルスデータ ・ ・ ・ n:n番目のパルスデータ 定義域: 整数であることとする
x、y	計測点座標値(m単位で小数点以下第2位まで)
z	計測点標高値(m単位で小数点以下第2位まで)
ファイル名	****_org.las(****には国土基本図郭1/4単位の図郭名が入る)



4 用語集・Q&A集

航空レーザ計測用語集（アイウエオ順）

IMU Inertial Measurement Unit

ジャイロ加速度計を使用した慣性計測装置。水平 2 軸および垂直 1 軸のジャイロ軸からの傾きと 3 個の加速度計出力からレーザスキャナーの回転運動および平行運動成分を検出する。ジャイロ加速度計にはドリフト現象が伴うので、単体で使用する場合は、座標既知点において積算データを頻繁にリセット（ゼロベロシティー補正）する必要がある。現在は、この欠点を補完した GNSS / IMU 統合システムが主流。

アイセーフ高度 Eye Safe Altitude

公称眼障害距離（NOHD）以上の離隔で設定した対地飛行高度。航空レーザ計測システムの種類や計測条件で設定値が変わる。通常、航空レーザ計測システムには、不測の飛行高度低下に備え、自動的にレーザ照射を遮断するフェールセーフ機構が備えられている。

APD Avalanche Photodiode

アバランシェ・フォトダイオード。アバランシェ効果（電子雪崩）を利用した高速かつ高感度のフォトダイオード。航空レーザ計測システムで、一般的に反射パルスの検出に使用される。→アバランシェ効果；半導体に逆バイアス電圧をかけると光電子が連鎖的、爆発的に増幅される効果。

NOHD / MPE Nominal Ocular Hazardous Distance / Maximum Permissible Emission

NOHD（公称眼障害距離）。眼に関する多くの障害事例から医学的に定められた MPE（最大許容露光量）のエネルギーまでにレーザ出力が減衰する時の光源までの距離。航空レーザ計測システムでは、NOHD に安全率を加えた対地高度を保つことで安全を確保している。

オリジナルデータ Original Data

航空レーザ計測データを処理して得られるランダムな点群からなる三次元座標データ。ただし、不要なノイズデータを取り除き、調整用に設けた基準点を用いて標高を調整したデータをいう。

オルソフォト画像 Orthophoto Image

中心投影で撮影された写真などを数値化し、外部評定要素と数値地形モデルを使って正射投影に変換した画像。標高の違いや中心投影に伴う被写体の幾何学的な歪みが補正されており、地図データに重ね合わせることができる。デジタルオルソともいう。

キネマティック解析 Kinematic Analysis

航空機上で取得された GNSS データと基準点で取得された GNSS データを用いて基線解析を行い、移動体の位置を計算する処理をいう。

キャリブレーション Calibration

航空レーザ計測システムの構成機器を最適化するための調整作業。あらかじめ設定したキャリブレーション・サイトの計測結果から、各計測機器のパラメータ設定を調整する。レーザスキャナーの主光軸とデジカメなどのイメージセンサ光軸との関係を調整する作業をボアサイト・キャリブレーションという。

Qスイッチング Q Switching

固体レーザで発振を制御し、高出力パルスを生成する機構。YAG レーザでは、レーザ共振器内部においた結晶体（可飽和吸収セル；Qスイッチ）の光損失を低い状態から一気に高めて透過率を上げ、高出力パルスを発生させる。パルス周波数は、共振器へのポンピングで制御される。

近赤外レーザ IR Laser

航空レーザ計測システムで一般的に使用されている固体レーザ。近赤外領域のレーザ光を放出するネオジウムイオン（Nd³⁺）をホスト結晶に混入させたヤグレーザ（Nd:YAG）やバナデートレーザ（Nd:YVO₄）が使われる。これらは、ともに波長 1064nm のレーザ光を発振する。小型で出力が大きく効率が高い。赤外レーザ（IR Laser）ともいう。

グラウンドデータ Ground Data

航空レーザ計測によるオリジナルデータから、フィルタリングによって地表面以外のデータを取り除いた三次元データ。GSI マニュアルは、交通施設・建物等・小物体（送電線等）・水部等・植生・その他（工事現場等）が除外対象とされる。

航空レーザ計測システム e.g. Airborne Laser Scanning System

航空機に搭載したレーザ距離計を用いて地表の三次元形状を計測するシステム。レーザパルスを送信して走査し、地表までの往復時間から反射点までの距離を得る。スキャン角、および同時に計測したセンサの姿勢・測位データを合わせて反射点の三次元座標を求め、地形の三次元形状を計測するシステム。

「航空レーザ測量による数値標高（DEM）マニュアル」 GSI Manual

略称 GSI マニュアル。航空レーザ計測手法が公共測量作業に使用できるよう、国土地理院（Geographical Survey Institute）が平成 18 年 4 月に発行した改訂した作業マニュアル。このマニュアルに修正を加えた内容が平成 20 年の公共測量作業規定改訂版に掲載される。

サイクルスリップ Cycle Slip

GNSS 位相測位で、受信波が何らかの原因で瞬断するなどして搬送波の順序の同定が狂うことによって起きる測位異常。GNSS/IMU を搭載している航空レーザ計測システムでは、IMU の加速度出力から得られる三次元位置で異常区間を補完する。

GNSS Global Navigation Satellite System

全地球測位システムや全地球航法衛星システムなどと訳されている。
一般に、アメリカの GPS、ロシアの GLONASS、ヨーロッパの Galileo、中国の北斗などが利用される。
公共測量作業規程では、GPS、GLONASS と準天頂衛星システムを適用することになっている。

GNSS 測位 GNSS Positioning

複数の GNSS 衛星から受信するコード信号もしくは搬送波の位相を用いて受信アンテナの三次元座標（WGS 84 GNSS 座標系）を測量する方法。コードによるものを単独測位、位相によるものを位相測位という。航空レーザ測量のような移動体を用いる場合は、地上に固定された GNSS 基準点との間で相対測位を行って航跡を再現する。

GNSS / IMU GNSS/IMU Integrated System

GNSS/IMU 統合システムの略称。GNSS の衛星切替えやサイクルスリップなどに起因する短波長の計測誤差と IMU のドリフトによる長波長の計測誤差を、両センサを統合することで互いに補完させ、姿勢・測位計測精度を向上させたシステム。航空レーザ計測システムによる三次元座標計測の根幹をなす構成要素。このシステムの登場により、航空レーザ計測システムの実用化が大きく進展した。

斜方計測 Off Nadir Scanning

レーザスキャナーの主光軸を鉛直から斜めに傾けて計測する方法。上方からは計測が困難な露岩からなる急崖や構造物の外壁の計測、被災地など被災地上空に立ち入れない場合に使用される。また、航空レーザ測深システムには、水中への入射エネルギーを一定にするためオフナディアでスキャンするものがある。

スキャン角度 Scan Angle

スキャナーで走査されるレーザパルス光軸がとる方向角。スキャナーの走査中心（基準軸）に対する角度（ $\pm \theta^\circ$ ）で表す。レーザ反射点の三次元座標の算定に使われる。

スキャン周波数 Scan Frequency

振動タイプのスキャナーの場合、1 秒間に往復運動する回数。1 スキャンは、2 本 1 組の走査線からなり、それぞれをハーフスキャン（half scan）という。ロータリータイプでは、1 秒間の回転数にミラー数を乗じた本数をスキャン速度と称している。

スキャンパターン Scanning Pattern

レーザパルスの反射点（フット・プリント）が描く軌跡。スキャナーのタイプにより、ジグザグや平行などの走査線が描かれる。一軸で往復振動タイプのレーザスキャナーの場合、走査線の間隔はスキャン周波数と飛行速度に、走査幅はスキャン角と対地高度に依存する。

タイポイント Tie point

写真測量用語の“結合点”。隣接するコース間相互で識別できる特徴的な物標。航空レーザ計測では、同一平面内におけるサンプル数の多い方が精度が向上することから、グラウンド、駐車場および屋上など、平坦で広い場所が選定される。

TIM / 走時計 Time Interval Meter

レーザ距離計を構成する主要な計測器で、発信パルスと受信パルスのそれぞれのピーク波形を検出することにより、センサと反射体までのレーザパルスの往復時間を検出する。往復時間は、光の速度（ $\approx 30\text{km/h}$ ）を用いて往復距離に換算される。

TIN Triangulated Irregular Network

三次元データを三角形の集合（不整三角網）に変換して地表面を表現する方法、もしくはそのためのソフトウェア。ベクトル型のトポロジーを持ち、三次元データから地形を可視化してリアルに再現する場合に使われる。

DGNSS / KGNSS Differential GNSS / Kinematic GNSS

航空レーザ計測と同時に観測した地上 GNSS 基準局の単独測位の変化量を移動局の単独測位結果に適用して測位精度を高める方法を DGNSS（Differential GNSS）、GNSS 衛星からの搬送波の位相を連続的に追尾して基準局と移動局それぞれの行路差から相対測位を行う方法を KGNSS（Kinematic GNSS）という。

デプスバイアス Depth Bias

光の進行速度が水中で遅くなることに起因する深度の変位（Depth Bias）。河岸から水底を観察すると、実際より浅く感じられる現象として知られる。水中の光の進行速度は大気中の場合の $1/n$ （ n ：屈折率）となる。

DEM / DSM / DTM Digital Elevation Model / — Surface — / — Terrain —

それぞれ数値標高モデル（DEM）、数値表層モデル（DSM）および数値地形モデル（DTM）という。DSM は、地表面とその上にある地物表面の標高からなるメッシュデータであり、DTM は、地表面の標高のみからなるメッシュデータである。DEM は、これらを含む概念として使用され、地表面の標高のみからなる DEM は、DTM と同義となる。

透明度／セッキ深度 Degree of transparency / Secchi Depth

海水の濁りの程度を表す指標。直径 30cm の白色の円盤（透明度板／セッキ板）を沈め、裸眼で不可視となる深さ。プランクトンなど海水中の懸濁質の多寡に影響される。外洋で高く、沿岸で低い。航空レーザ測深システムの計測深度は、レーザ出力で異なるが、透明度の 2 ～ 3 倍程度である。

DOP Dilution of Precision

GNSS 衛星の配置状態による精度への影響の度合いを表す数値を DOP（精度低下率）といい、その内で位置精度低下率を示す指標を PDOP（Position DOP）、標高精度の低下率を示す指標を VDOP（Vertical DOP）、垂直精度の低下率を HDOP（Horizontal DOP）という。航空レーザ計測は、PDOP が小さい時間帯（衛星高度が高く、配置が偏らない条件）を選んで行われる。

波形分析器 Waveform Digitizer

レーザパルスの反射強度を微小時間単位（ナノ秒～ピコ秒）で計測し、反射波形として記録・表示する装置。反射波形は、地表の反射物の性情や海水の濁りの把握などに利用される。ウェーブフォームデジタイザともいう。

パルス幅 Pulse Width

パルス波形で上昇から降下までに要する時間。パルス幅とピーク出力の積が 1 パルス当りエネルギーとなるので、1 パルス当りのエネルギーが同じであれば、パルス幅が短い方が距離計測の精度は高くなる。

反射ノイズ Noise

レーザデータの主なノイズに、大気中のエアロゾルが起すレイリー・ミー散乱（入射光と同じ波長の光が散乱する）によるもの、および、市街地などで発生するマルチパス（レーザパルスが構造物などに複数回反射する）によるものが知られている。前者は、空中に浮遊する雲状の反射データとなり、後者は、本来有り得ない地中からの反射データとして現れる。

PMT Photomultiplier Tube

光電子増倍管。略してフォトマルともいう。ノイズが少なく、微弱な光子が検出できる高感度の真空管式の光センサ。受信したパルス光子を受光部で光電子に変換し、電子増倍部で百万倍以上に増幅して検出可能な電気信号に変換する。航空レーザ測深システムで深 - 深度用センサに使われている。

ビーム拡散度 Beam Divergence

レーザ共振器の射出口に置いたレンズ系で拡散させたときのビームの広がり角。通常、レーザビームの投影中心におけるピークの $1/e$ (e ; 自然対数の底) となる強度のビームがとる立体角。ミリラジアン単位で表記する。

ファーストパルス／ラストパルス／中間パルス First Pulse / Last Pulse / Other Pulse

航空レーザ計測システムが受信する反射パルスの順序。レーザスキャナーが受信した最初の反射パルスをファーストパルス、最後の反射パルスをラストパルス。中間のパルスはアザーパルスともいう。ファーストパルスは、樹木や建物などの地物を含めた全ての表面を計測。ラストパルスは、樹林地で地表を計測する割合が高い。

フットプリント／レーザ反射点 Foot Print

レーザパルスのビームが地表に描く投影パターン。ビーム拡散度、センサの対地高度およびスキャン角度によって、大きさと形状が異なる。

LiDAR Light Detection and Ranging

レーザ光をスキャンさせ、その後方散乱スペクトルや往復走時から物質の空間分布を計測する装置。レーザ・レーダ (Laser Radar) ともいう。航空レーザ計測システムは、レーリー・ミー散乱によるレーザ光の往復時間のみを計測するエアボーン・ライダー (Airborne Lidar) である。LiDAR のほか LIDAR や Lidar と表記される。

ラマン散乱 Raman Scattering

入射光を受けて励起した水分子などが特定の波数だけ長波長（もしくは短波長）側にずれた散乱光を放出する現象をいう。航空レーザ測深システムで、海面の検出に利用される。また、大気のエアロゾル観測や紫外線パルスレーザを用いた蛍光ライダー (LIDAR) では、海水部分の散乱との比較で油膜の検出に利用されている。

レーザスキャナー Laser Scanner

レーザ距離計に反射ミラーを合体させて計測対象を走査するレーザ計測装置。航空レーザ計測システムでは、反射ミラーが一軸で往復振動するスキャナーが一般的に使用されている。そのほか、二軸で往復振動するものやコニカルに往復振動するタイプ、ポリゴンミラーを用いたロータリータイプのスキャナーも使われる。

レーザ反射強度 Intensity

レーザ反射パルスの相対的な信号強度。レーザビームの後方散乱に係わる物質の反射率や表面粗度の影響を受ける。PMT (光電子増倍管) や APD (光デバイス) がレーザ光子による光電子を増幅した電気信号の強弱。原理的には受信光子数を意味する。ただし、表示される数値は、レーザスキャナーのタイプによって異なる。

レーザパルス周波数 e.g. Laser Pulse Rate

1 秒間に発射されるレーザパルスの数。レーザパルス周波数が高い方が計測点の空間密度を上げることができるが、レーザ共振器に加えられるエネルギーに限度があるので、レーザパルス周波数を上げると 1 パルス当りのエネルギーは低下する。

(1) 航空レーザ計測の特徴について

質 問		回 答
問1	雨天や曇天時は計測できるでしょうか？	レーザの地上への照射に影響を与える、雲や霧・雨などの障害がある場合は計測できませんが、それらすべてが飛行高度以上の場合は計測可能です。
問2	夜間でも計測できるでしょうか？	原理的には、夜間でも計測は可能です。しかし、日本国内の航空規制上、夜間飛行に関しては、厳しい制約(計器証明及び夜間離発着許可)がありますので、通常は行いません。また、夜間の計測ではデジタルカメラ画像が暗くなってしまうため対応できません。
問3	天候以外に計測飛行ができない要因は？	機体の飛行時間毎点検時や定期点検時(1～2週間ほど)によるもの、自衛隊演習空域の規制、制限空域の飛行時間・対地高度規制、飛行場の運用時間内や運用制限などがあります。
問4	積雪がある状態では計測できるの？	基本的に積雪面で反射しますので、積雪面標高(積雪深)を計測することが可能です。
問5	航空レーザと同時に計測している装置はあるのか？	近年の傾向としては、高い波長分解能により対象物のスペクトル特性(光の波長に対する物質の反射特性のこと)を計測する機能を持つ「ハイパースペクトルセンサ」や空中写真測量用デジタルカメラを併載し、種類の異なるデータから複合的な知見を得る手法を試みるケースが増えてきています。
問6	単体のデジタルカメラとレーザに併載しているデジタルカメラの違いは？	大きな違いはレーザデータ計測時と同時に撮影されている利点があることです。単体のデジタルカメラの場合は画素サイズが大きいのに対して、レーザに併載しているものは画素サイズが小さいことが挙げられます。
問7	ヘリコプタ(回転翼)と飛行機(固定翼)の違いは？	一般的には、回転翼は計測対象が線状の地形・地物である場合、高密度での局所的な計測に利用されています。一方、広域的な計測には固定翼が利用されています。
問8	レーザとレーダの違いは？	レーザもレーダも観測装置から電磁波を発射してその反射波を受信する原理は同じですが、利用する電磁波の波長が異なります。レーザは一般的に近赤外線ですが、レーダはそれよりずっと波長の長いマイクロ波になります。どちらも地形計測は可能ですが、精度的にはレーザの方がはるかに上です。ただし、レーダは波長の長い分、全天候型で雨や雲の影響を受けない特徴があります。
問9	レーザは人体に照射されても安全ですか？	使用する装置により異なりますが、照射される距離によっては危険です。そのため、航空レーザ計測装置には、平均飛行高度により自動的にレーザを遮断する機能(アイセーフ機能)や、緊急停止スイッチが装備されています。
問10	レーザの照射強度は調節できるのか？	パワーの調整が可能な機材はありますが、JIS(日本工業規格)で規定されたアイセーフの基準以下となるように、飛行高度や強度を設定する必要があります。
問11	航空レーザ計測では、どのような地形においてもデータ取得が可能でしょうか？	現在、民間の航空測量会社が所有している装置は、近赤外レーザを利用しており、通常水面下にはレーザが到達しません。緑色の波長も利用した2波長レーザシステムのみが、航空機による水深の測量を可能にします。
問12	レーザは樹木の葉を透過できますか？	樹木や笹、低木が密生し地面にまでレーザが到達しないようなところでは、正確な地表を捉えることが難しくなります。また、葉そのものを透過することはできません。
問13	レーザで測れない地物は何があるのでしょうか？	空中から照射しているので、橋梁や高架等の下など、構造物に隠れている部分に関しては計測できません。また、水面部はレーザが水で吸収されることや乱反射が起こるためデータが欠測する場合があります。なお、水面でもデータ取得できる場合がありますが、位置正確度やデータの信頼性に欠けます。黒い屋根や施工直後のアスファルトなど、反射率が低下する箇所でもレーザ光が吸収されてしまうため、欠測となる場合があります。
問14	樹木の種類により計測値の違いはありますか？	針葉樹林では、樹頂にレーザが当たる確率は広葉樹林よりも低くなるなど、樹種による計測値の違いは起こります。また、密生林や竹林では、樹冠のデータが多く、地表面のデータが少ない傾向になります。

質 問		回 答
問 15	反射パルスはどこまで記録可能なのか？	機種により異なりますが、1st・2nd・3rd・Last の4パルスまで記録可能な機種もあります。一方、波形記録型 (Waveform Digitizer) の機能を有する機種では、反射光のすべてを記録することができます。
問 16	ノイズ発生の原因にはどのようなものが挙げられるでしょうか？	空中に浮いているホコリや水蒸気・煙・排気ガスなどにより、ノイズとして計測される場合があります。また、建物や樹木に数回反射 (マルチパス) してしまい、距離が実際よりも長く計測されてしまう場合もあります。
問 17	実際に地上に当たっているレーザ計測点はどれくらいの大きさ？	レーザ光が地上と接触した面状の箇所を「フットプリント」と呼んでいますが、この大きさは飛行高度やスキャン回数・スキャン角度を調整することにより異なります。一般的には直径 30cm が目安となっています。
問 18	航空レーザ計測における、1日のデータ収集量の限度は？	航空機の最大運行時間とデータ取得容量の限度に依存します。しかし、航空機の航続時間・計測エリアから空港までの移動距離・飛行速度・地形の比高差による飛行高度の変更回数などの諸条件により、業務量は変化します。また、デジタルカメラの画質を優先させた場合も、日照時間や太陽高度による影の影響によって、計測時間が減少する場合もあります。

(2) 利活用について

質 問		回 答
問 1	よく使われるレーザ点群データの密度は？	氾濫原では 2 m に 1 点の密度で計測する事例が多いですが、山間部では微地形の把握に必要な 1m 間隔で計測事例あります。森林分野では森林管理や治山計画のため、1m に 4 点の密度が必要です。
問 2	フィルタリングの自動処理には限界があるの？	レーザデータが地表面を捉えている場合は、ある程度自動処理で可能ですが、例えば草の一種である葎 (ヨシ) や笹の密集地などで地表面をまったく捉えていない場所では、自動処理の限界があります。
問 3	自動フィルタリングで除去しすぎた場合はどうするか？	除去しすぎたデータを特定し、そのデータのみ差し戻し再処理する手法が用いられています。
問 4	航空レーザデータファイルの共通様式はありますか？	現在、「LAS ファイル」をベースにした業界標準フォーマットが公開され、2003 年 5 月には ASPRS (米国写真測量とリモートセンシング学会) がそれを承認しました。2007 年 8 月に Ver2.0 が公開されましたがデータ構造が複雑なため、現在は Ver1.0 から 1.3 が主に使われています。ユーザには最終的に、LAS ファイルを TXT ファイルに変換した形で提供されています。
問 5	レーザデータのデータファイルの中身は？	XYZ の位置・標高情報が一般的です。付属情報として、レーザ反射情報や点毎に連番などをつける場合もあります。
問 6	レーザデータはどのように表示できますか？	TXT ファイル形式ですが、データ量が膨大なので、専用のビューワが必要です。
問 7	レーザの反射強度データは何に使うの？	近赤外を利用した植生調査や道路の白線部の抽出、モノクロオルソ画像の代用などに利用されるケースがあり、研究が進められています。
問 8	レーザデータの主な使用目的は？	ハザードマップ作成や防災・地形解析に主に使われ、森林調査や都市モデル作成などにも利用されています。
問 9	航空レーザ計測における成果出力、成果事例にはどのようなものがあるのでしょうか？	レーザデータを基にした等高線図、陰影図、断面図、標高段彩図、微地形表現図などがあります。また、都市分野、河川分野、砂防分野、道路分野などでの成果事例があります。

(3) 精度について

質 問		回 答
問1	データ取得後の点検作業は、主にどのようなことを行っているのでしょうか？	必要な計測範囲が計測されているか、必要な点密度が満たされているかどうか、コース間でのデータの整合性は問題ないか、水平位置・高さ位置の精度は問題ないかなどを点検します。
問2	レーザ計測点密度は最高どれくらいまで計測可能ですか？また、密度を高くすれば、精度はそのまま比例して向上しますか？	1 秒間あたりのレーザ発射数を表すパルスレートが現在（2014 年 7 月現在）では 500kHz(1 秒間に 50 万発) が最高ですが、それに満たない機種でも往復計測することでレーザ測量点密度を上げることは可能です。また、点群密度を上げると、より細かなデータが取得可能ですが、反面ノイズデータも比例して取得してしまうので、費用対効果を考慮しての計測が重要となります。
問3	レーザ計測システムの校正はどのようにしているのか？	基本的には、レーザ装置保有会社ごとに機器校正用サイトを持っています。業界的には、(社) 日本写真測量学会が航空機搭載センサの精度検証用テストフィールドを運用しており、これにより信頼度の高い検証や比較実験が可能となっています。
問4	高さの精度検証はどのように行っているのか？	現地において検証用に行った水準測量結果と、レーザ計測データとの比較により精度検証を行っています。水準測量の観測点は、レーザ照射地点と同じ点を測ることは難しいので、グラウンドや公園などの広く平坦な場所を選び、オルソ画像上で明瞭な地点からの一定距離を実測します。その後、コンピュータ上でオルソ画像とレーザ点を重ねあわせ、実測した場所の近傍に照射されたレーザ点と高さの比較をします。

会 員 名 簿

No	会員名	郵便番号	所在地	電話番号
1	朝日航洋(株)	136-0082	東京都江東区新木場4-7-41	03-3522-7161
2	アジア航測(株)	160-0023	東京都新宿区西新宿6丁目14-1新宿グリーンタワービル	03-5909-4181
3	(株)エイテック	151-0071	渋谷区本町4-12-7住友不動産泉西新宿ビル6階	03-6311-8151
4	(株)アトラス	690-0026	松江市富士見町3-34	0852-37-0001
5	第一航業(株)	166-0001	東京都杉並区阿佐谷北3-41-12	03-3339-2191
6	大和測量設計(株)	168-0081	東京都杉並区宮前4-26-29	03-3334-3311
7	グリーン航業(株)	102-0084	東京都千代田区二番町5-5番町フィフスビル6階	03-3234-1378
8	(株)八州	135-0042	東京都江東区木場5-8-40東京パークサイドビル4階	03-5646-1901
9	東日本総合計画(株)	130-0002	東京都墨田区業平3-14-4	03-6859-3939
10	北海航測(株)	060-0003	札幌市中央区北3条西17丁目	011-611-3225
11	北陸航測(株)	933-0353	高岡市麻生谷400番地	0766-31-6033
12	(株)ジェノバ	101-0041	東京都千代田区神田須田町1-34-4神田グロウビル6階	03-5209-6885
13	(株)かんこう	536-0006	大阪市城東区野江1-12-8	06-6935-6920
14	国際航業(株)	102-0085	東京都千代田区六番町2番地	03-3262-6221
15	(株)協同測量社	380-8577	長野市安茂里671	026-226-5691
16	中日本航空(株)	480-0202	愛知県西春日井郡豊山町大字豊場字殿釜2番地	0568-28-2151
17	中日本航空測量(株)	456-0033	名古屋市熱田区花表町20-35	052-881-6178
18	(株)中庭測量コンサルタント	143-0014	東京都大田区大森中1-2-26	03-5753-3300
19	(一社)日本森林技術協会	102-0085	東京都千代田区六番町7番地	03-3261-5281
20	(株)ニッコー	320-0808	宇都宮市宮園町8-11	028-633-2361
21	(株)日航コンサルタント	733-0006	東広島市西条中央1-17-9	082-423-5773
22	(株)オリス	950-0951	新潟市中央区鳥屋野310番地	025-283-5111
23	(株)パスコ	153-0043	東京都目黒区東山1-1-2	03-5722-7600
24	(株)シン技術コンサル	003-0021	札幌市白石区栄通2-8-30	011-859-2600
25	写測エンジニアリング(株)	543-0001	大阪市天王寺区上本町3-2-15	06-6768-0418
26	玉野総合コンサルタント(株)	461-8539	名古屋市東区東桜2-17-14新栄町ビル	052-979-9111
27	東邦コンサルタント(株)	085-0833	釧路市宮本1-2-4	0154-41-8723
28	東北測量(株)	030-0902	青森市合浦1-2-16	017-741-8331

**本書に関するお問い合わせは、
下記メールまたは FAX でお預かり致します。**

〔お問い合わせ先〕
一般社団法人 日本林野測量協会
航空レーザ検討会
Email：rinsokyo@apricot.ocn.ne.jp
FAX：03(3261)8145

森林・林業分野における航空レーザ計測 積算ハンドブック

第1版 平成26年9月発行
発行：一般社団法人 日本林野測量協会
〒102-0085 東京都千代田区六番町7 日林協会館内
電話：03(3261)8183 FAX：03(3261)8145
HP：http://www3.ocn.ne.jp/~rinsokyo/
E-mail：rinsokyo@apricot.ocn.ne.jp
編集：一般社団法人 日本林野測量協会 航空レーザ検討会

**本書に関するお問い合わせは、
下記メールまたは FAX でお預かり致します。**

〔お問い合わせ先〕

一般社団法人 日本林野測量協会
航空レーザ検討会

Email：rinsokyo@apricot.ocn.ne.jp

FAX：03(3261)8145

森林・林業分野における航空レーザ計測 積算ハンドブック

第 1 版 平成 26 年 9 月発行

発行：一般社団法人 日本林野測量協会

〒102-0085 東京都千代田区六番町 7 日林協会館内

電話：03(3261)8183 FAX：03(3261)8145

HP：http://www3.ocn.ne.jp/~rinsokyo/

E-mail：rinsokyo@apricot.ocn.ne.jp

編集：一般社団法人 日本林野測量協会 航空レーザ検討会



総説

リアルとデジタルの好循環を通した市民科学による生物の時空間分布プラットフォーム

小出 大^{1,*}・辻本 翔平¹・熊谷 直喜¹・池上 真木彦²・西廣 淳¹

¹国立環境研究所気候変動適応センター

²国立環境研究所生物多様性領域

Species' spatiotemporal distribution platform based on citizen science through desirable circulation
between the real and digital worlds

Dai Koide^{1,*}, Shohei Tsujimoto¹, Naoki Kumagai¹, Makihiko Ikegami² and Jun Nishihiro¹

¹Center for Climate Change Adaptation, National Institute for Environmental Studies

²Biodiversity Division, National Institute for Environmental Studies

要旨：人為攪乱や気候変動など、変動する環境下において様々な生物多様性の変化が引き起こされ、生態系サービスの変容が危惧される中で、市民科学は生物の観測や生物多様性の普及啓発を図る上でますます重要なツールとなってきた。近年のスマートフォンの普及とデジタル技術の革新に伴って、国内でも様々な市民科学デジタルプラットフォームが構築されてきたが、相互の特徴比較やデータを活用した観測の改善などはまだ不十分である。そこで本論文では国内3つのデジタルプラットフォーム（iNaturalist、いきものログ、Biome）比較を行い、市民科学におけるデータやデジタル活用に関連する課題をまとめた上で、その課題をデータ解析によって克服する方法について議論した。3つのデジタルプラットフォームは入力可能なデータ形式や、使いやすさ、データの公開方針などで違いがあり、プロジェクトの目的によって使い分ける必要性が考えられる。市民科学の課題としては、データの質・量に関係するものとして種同定精度、観測バイアス、分布の北限南限やフェノロジーなどいくつかのデータの不足が挙げられた。またプロジェクト運営に関係する課題として、市民とのコミュニケーション不足や継続性の担保が指摘されている。種同定精度に関しては観察した生物の写真や位置情報などを使った機械学習による人工知能判定により改善されてきているが、その他の課題に関しては今後データを活用・解析してデータ取得の段階から改善していく方向性が考えられた。種ごとの観測データの見える化や、モデルによる時空間分布予測、個別の市民観測データに対する貢献度評価レポートなどを用いれば、既存の課題を改善することが可能と考えられる。現実世界における生物観測データの共有を進め、デジタル世界におけるデータ解析結果をユーザーがスマートフォンで簡単に確認しつつ楽しみながら観測を改善し、新たな観測データを元にモデル改善を図る。こうしたリアルとデジタルの好循環を意識した観測体制の構築が、さらなる市民科学の活性化と、自然と共存した社会形成に繋がるだろう。

キーワード：デジタルプラットフォーム、種分布、生物多様性、フェノロジー、モニタリング

Abstract: Anthropogenic disturbances and climate change have caused multi-dimensional changes in biodiversity and, consequently, in ecosystem services. In this changing world, citizen science and monitoring are essential ways to observe species' spatiotemporal distributions and enhance, simultaneously, public awareness of biodiversity. Recent technological innovations have provided several digital platforms for citizen science using personal digital devices, but these platforms and the data-induced improvement in citizen observation programs have not been discussed. This paper compared three main platforms in Japan

* 〒305-8506 茨城県つくば市小野川 16-2 国立環境研究所気候変動適応センター

Center for Climate Change Adaptation, National Institute for Environmental Studies, 16-2, Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305-8506, Japan

e-mail: koide.dai@nies.go.jp 2022年6月7日受付、2022年11月2日受理、2023年4月30日早期公開（J-STAGE）

著作権は著者に帰属する

(iNaturalist, “Ikimono-log”, and Biome) and discussed possible solutions to general challenges that citizen science has faced through data analyses. The three platforms differ in the applicable data type, usability, policy for data-opening, etc. Monitoring project organisers should understand the characteristics of each platform and select a suitable one. The main challenges for citizen science were data quality and quantity, such as species identification, spatiotemporal data bias and the shortage of specific data (e.g. the northern/southern limits of distributions and phenology data). There were also problems with project management, such as limited communication with participants and the continuity of each project. The accuracy of species identification has increased by using artificial intelligence and photographs of observed species with location information. Solutions for other challenges, such as the spatiotemporal data bias and shortage of specific data, should be developed by using and analysing stacked observation data. Visualisation of observed data for each species, model predictions filling the spatiotemporal gaps in observations and contribution reports for each observed dataset should be useful for solving these data collection challenges. Sharing real-world observation data broadens analyses in the digital world, and the results should be shown on participants’ devices as a way to improve their observations and further their enjoyment in making observations, which would improve the model analyses. Creating an observation system targeting this desirable circulation between the real and digital worlds should motivate citizen science further, enhancing the connectivity of a nature-friendly society.

Keywords: biodiversity, digital platform, monitoring, phenology, species distribution

はじめに

社会インフラの拡充に伴い都市への人口集中が進行し、デジタル世界にどっぷり浸かった生活を営む人が増えた現代では気付きにくい、現実世界における私たちの生活を支える自然生態系のサービスには、様々な駆動要因による変化が生じている。生態系サービスは、食糧や水などの供給、大気や水質・水量の調整など基盤的なものから、より人間の文化的な側面に関与する観光や芸術、教育まで多岐にわたる (Cardinale et al. 2012; Harrison et al. 2014)。こうした生態系サービスの源泉である生物多様性は、これまで過剰利用や管理放棄、外来種の持ち込みなど、人為によって強く脅かされてきた (Barlow et al. 2016; Caro et al. 2022)。しかし近年、これら直接的な人為影響に付け加える形で、地球温暖化などの気候変動による危機も指摘されるようになってきている (Scheffers et al. 2016; Arneeth et al. 2020; Habibullah et al. 2022)。気候変動による気象条件の変化は、生物の出生・成長・死亡における様々な段階に影響を与えるため、多くの生き物において分布域や生物季節 (フェノロジー: 植物の開花や展葉、鳥の初鳴きや渡りなど、季節変化に伴って毎年のように繰り返される現象のこと) などの変化を引き起こすと考えられる (Parmesan and Yohe 2003; Scheffers et al. 2016)。しかし気候変動による生物の変化は、これまでの直接的な人為影響に比べて影響が弱く、発現が遅いため、実態の把握が難しい (Caro et al. 2022)。これはつまり、気付いた時には身近な生物が消えている可能性や新たに分布を拡大している可能性を孕んでいるため、生物における分布・フェノロジーなどの変化をいち早く検

出するシステムを持つことは、気候変動下での生物多様性の保全を考える上でも重要と考えられる (Lepetz et al. 2009; Pettorelli et al. 2019)。

自然生態系における変化を検出するモニタリングは、これまで主に高い調査能力と種同定力を持つ専門家による定期的な調査によって行われてきた。しかし既存の生物モニタリング手法は多くの専門家による高度な野外調査が必要なため、比較的高額な予算と多数の専門的な人員の確保という共通した課題があった (Bland et al. 2015; Kelling et al. 2019)。こうした課題の中、専門家による深く狭い調査を補う選択肢の一つとして、市民への普及啓発や娯楽を通して市民と共に広域的に観測を行う、市民科学による生物の観測が近年注目されている (Dickinson et al. 2010; Chandler et al. 2017; MacPhail and Colla 2020; Johnston et al. 2022)。この手法では広く全国に在住している市民の方々のご協力を得て、共同で生物を観測することで、モニタリングに必要なデータ量の確保を狙っている。またモニタリングと同時に、調査に関わる人材育成や、自然生態系における気候変動影響などの普及啓発を図る必要がある (Silvertown et al. 2011; Willemsen et al. 2015)。こうした市民参加型調査は、データの品質や市民が楽しめる工夫などの運営が必要など、また別の課題があるものの、近年のスマートフォンをベースにしたデジタルプラットフォームではこれらの課題をうまく克服するようになってきている (大澤ほか 2013; Wang et al. 2014; Liebenberg et al. 2017; Feldman et al. 2021)。データの品質に関しては、スマートフォンにおけるカメラ画像と GPS の位置情報を用いて、人工知能に基づく種判別技術を用いることによって誤同定や未

同定のデータを減少させている（藤木・龍野 2021）。また市民が楽しめる工夫や運営に関しては、SNS のようにデジタルプラットフォーム（スマートフォンのアプリなど）を通じたユーザーとのコミュニケーションや、ゲーム性を持たせたアプリやプロジェクトの設計を通じて改善するようになってきた（Sullivan et al. 2014；大澤・和田 2016；宮崎 2016）。パソコンやスマートフォンを用いてインターネット上でデータの収集・シェアを行う市民科学のデジタル化は、最新投稿の即時公開・解析やユーザーの意欲向上、手作業による登録作業量・時間の大幅縮小など、様々な恩恵をもたらしており、市民科学プロジェクトにおける標準的なツールとなってきた。

日本においても、スマートフォン等を利用した市民科学のデジタルプラットフォームはいくつか実用化している。その中には自前でデジタルプラットフォームを構築している場合もあるが開発や維持に手間がかかるため、既存のデジタルプラットフォームを利用することが多いと考えられる。しかし既存のデジタルプラットフォームを用いた市民観測のプロジェクトを新たに展開する際、大きく2つの課題があると考えられる。1つは、デジタルプラットフォーム間の特徴の違いをまとめた資料の欠如である。各デジタルプラットフォームは全く同じ構造・様式・特徴や理念を持って運営されているわけではなく、それぞれに長所・短所といった個性を持っている。その特徴の1つとして、いくつかのデータタイプ（音声データ、目視のみデータなど）はデジタルプラットフォームによっては現状では収録できない問題があるなど、ユーザー側に多少の混乱を生じさせている。またデジタルプラットフォームのユーザーとしてはデータ収集者だけでなく、データ解析者もいるが、データ解析者に対する使いやすさの面でも大きな違いがある。デジタルプラットフォームにおける特徴の整理を行うことは、スムーズなデジタルプラットフォームへのマッチングを通して市民科学のさらなる活性化に貢献すると考えられる。

もう1つの課題は、デジタルプラットフォーム側においてこれまでデータをどう収集すれば量や品質を向上できるかという視点が支配的で、集められたデータをどう使うかの視点が足りていないことである。この点は、モニタリングのためのモニタリング（Conrad and Hilchey 2011；Toomey and Domroese 2013）としても批判されている。市民参加調査によって集められたデータの多くは公開データであるため、データ解析を行う研究者は個別にそのデータを利用していた。その研究者による解析結

果は専門誌上の論文での報告が主であるため、必ずしも専門家ではないプロジェクト運営者やデータ収集者に十分還元されていない場合もありうる。そのため研究者の市民調査への直接参画を通してデータをどう使うかを明示し、市民が得たデータの成果を計画的に市民に還元することが、科学的なプロジェクトの設計やゴール設定に重要である。一方で研究者にとっても、付随して収集すべきデータ項目の提案や、自身が作成したモデルの検証データの収集など、データ解析者として参加する利点は決して少なくない。デジタルプラットフォームを通してデータ収集者だけでなくデータ解析者も繋ぐ場を構築できれば、双方にメリットを産みながら市民データの質・量を改善していけると考えられるが、その道筋は誰も示せていない。

こうした状況を踏まえ、本論文では変動する自然生態系における市民科学によるモニタリングを念頭において、市民科学を取り巻く現状について取りまとめると共に、今後の市民観測データを使った生物多様性モニタリング展開のありようについて議論することを目的とした。そこでまず日本の生物分布データにおけるデジタルプラットフォーム間の特徴の比較を行い、先行研究から市民科学におけるデータやデジタル活用に関連する課題をまとめた上で、その課題を改善しうる今後のデジタル展開のあり方について述べる。

市民データのデジタルプラットフォーム比較

現在スマートフォンを使った市民データデジタルプラットフォームとして、日本国内の幅広い分類群を対象に日本語でサービスが提供されているものは、iNaturalist、いきものログ、Biomeの3つが主流となっている。この3つのデジタルプラットフォームの比較表(表1)を参照としてとりまとめつつ、ここでは各デジタルプラットフォームの特徴を一つ一つ記述する。なお、デジタルプラットフォームにおけるバージョンアップにより、今後これらの特徴のいくつかは変化する可能性がある点は注意が必要である。国内には他にも特定の分類群に特化した、「日本全国みんなで作るサンゴマップ」(<https://www.sangomap.jp/>, 2022年6月3日確認)や、「マルハナバチ国勢調査」(http://hanamaruproject.s1009.xrea.com/hanamaru_project/index.html, 2022年6月3日確認)などが存在しているが、ここでは幅広い分類群を報告できる3つに絞って報告する。なおこれらのデジタルプラットフォームは、現状生物種の分布を主な観測対象として

表 1. 生物多様性の市民観測デジタルプラットフォーム比較表。
Table 1. Comparison of citizen monitoring digital platforms used to examine biodiversity.

	iNaturalist	いきものログ	Biome
データ公開	○	△	×
写真による種判別	○	×	○
言語	英語：日本語	日本語	日本語
位置情報入手	○	△：通常 10 km メッシュに集約、ポイントデータは専門家・公的研究機関のみ要問合せ	△：データ提供は要問合せ
品質管理	人工知能+ユーザーによる確認	なし	人工知能+ユーザーによる確認
メタ情報入力	○	○	○
ゲーム性	×	×	○
コミュニケーション	○	×	○
音声データ	○：ただしアプリ起動時に録音するか、別アプリなどで mp3 録音後に web サイトからアップロード	○：ただし外部 URL にアップロードした後、位置情報など別途入力が必要	×
画像・音声なしデータ登録	○	○	×
web サイト入力	○	○	×
スマホアプリ	○	△：不具合多い	○
ユーザーによるプロジェクト設立	○	○	×：予算の必要あり
API	○	△：ベータ版	×
解析用 R パッケージ	○	×	×
希少種配慮	△：ユーザーが手動で非公開に設定する必要あり	○	○

おり、初鳴きや開花などのフェノロジー（生物季節）の観測を主な対象としたものは国内では見られていない。広域的な市民フェノロジー観測によるデータも専門家による長期観測と同様に重要なデータであるため（Taylor et al. 2019）、USA National Phenology Network が展開する「Nature's Notebook」アプリ（https://www.usanpn.org/natures_notebook, 2022 年 7 月 20 日確認）のような、フェノロジーに特化したデジタルプラットフォームの日本語環境での構築も今後望まれる。

iNaturalist

「iNaturalist」(<https://www.inaturalist.org/>, 2022 年 6 月 3 日確認、図 1) は、カリフォルニア科学アカデミーが運営する非営利なデジタルプラットフォームである。グローバルスタンダードなデジタルプラットフォームとして 2008 年のサービス提供開始以来長く全世界的に利用されているものであり、スマートフォンを用いたデジタルプラットフォームとして基本的な要素(人工知能判定、ユーザー間コミュニケーション、データ公開、音声データ登録)はすべて満たしている。またプログラム上での

データ取得・参照などを容易にする API の設定や、統計ソフト R で解析する際のパッケージもあるなど、研究者などデータ解析を行う者にとっては利便性が高いツールがあることも大きな特徴である。データ公開も積極的で、国際的な生物多様性情報のプラットフォームである GBIF (「Global Biodiversity Information Facility」<https://www.gbif.org/>, 2022 年 6 月 3 日確認) にも、観察日時・場所と写真・音声記録があって他のユーザーからも種同定結果の承認を得られた「Research Grade」のデータは登録されている (「iNaturalist 研究用グレード観測データ」<https://www.gbif.org/dataset/50c9509d-22c7-4a22-a47d-8c48425ef4a7>, 2022 年 6 月 3 日確認)。アプリ上の操作性も高く、特定の種の分布報告のみを表示できるなど、容易に必要な情報が抽出できる。近年まで目視のみの報告は不可能であったが、現在は写真も音声もない目視のみの報告も受け付けており、収録可能なデータの幅が広がっている。一方でユーザーが楽しみつつデータを増やしていけるゲーム性や、日本語のユーザビリティ、国内の希少種におけるデジタルプラットフォーム側での配慮(現状だとユーザーが位置情報を非公開指定する必要あ



図 1. iNaturalist のホームページ画像 (<https://www.inaturalist.org/>) (写真：©faerthen, <https://www.inaturalist.org/observations/1853351>)。
Figure 1. Homepage image of iNaturalist.

り)に課題がある。

いきものログ

「いきものログ」(<https://ikilog.biodic.go.jp/>, 2022 年 6 月 3 日確認、図 2) は、環境省生物多様性センターが展開する非営利なデジタルプラットフォームで、なんでも登録できる間口の広さが長所となっている。市民科学によるデータだけでなく、専門家による既存の生物分布報告に関してもいくつか収録しており、データの幅広さが特徴的である。蓄積されたデータは、データ精査の後に GBIF へ登録される予定となっている。また種同定能力の高い専門家によるデータを意識してか、目視のみの報告も早い段階から可能としていた。しかし目視のみの報告は、他のユーザーやデジタルプラットフォーム側で検証できないという点が大きな課題である (Worthington et al. 2012; Acorn 2017)。また画像などを元にした人工知能による種判別機能はついていないため、データ品質の担保も課題となっている。アプリにおける操作性やコミュニケーション性に関しても、プロジェクトが表示されていなかったり、他ユーザーの報告が表示されていなかったり、他ユーザーとのメッセージのやりとりができなかったりと、他 2 つのデジタルプラットフォームに比べると低いと感じられる。さらに公的機関としては仕方がない点かもしれないが、ユーザーと紐づけられた位置データの公開は原則として認められておらず、通常状態では普通種の位置情報であっても 10 km メッシュ解像度での公開となっている。この解像度は、他のユーザーがその種を観察したい場合に障害となり得ると考えられる。またデータ解析でも、この解像度では生物の分布データと気候値などの環境データを対応させた解析が難しく、データを利用する際に課題がある。ただこの点に関しては、研究目的であれば申請の後に緯度経度の点データで提供が可能となっている。



図 2. いきものログのホームページ画像 (<https://ikilog.biodic.go.jp/>)。
Figure 2. Homepage image of “Ikimono-log”.

Biome

「Biome」(<https://biome.co.jp/>, 2022 年 6 月 3 日確認、図 3) は、株式会社バイオームが展開するデジタルプラットフォームであり、楽しさ満載のゲーム性とデジタルプラットフォーム側が提供する様々なプロジェクト (例：「外来種アメリカナマズの全国調査」<https://www.nies.go.jp/whatsnew/20210325/20210325.html>, 2022 年 6 月 3 日確認) の展開が大きな特徴となっている。ここで「ゲーム性」とは、生き物を報告すると分類群ごとにバッジが集められたり、発令されたクエストをユーザーがクリアするとまた別のバッジが集まったり、報告された種のレア度に応じて得られる経験値が異なり分類群別にレベルアップを目指していけることなどが該当する。人工知能による種判別も搭載されており、アプリの操作性は 3 つのデジタルプラットフォームの中でも一番高いと感じられる。一方で運営が私企業であり収集されたデータが事業展開の資産であるため、データは原則として公開されておらず、一般ユーザーのデータ利用面は課題となっている。ただしこの点は研究目的や公共性の高い課題への



図 3. Biome のホームページ画像 (<https://biome.co.jp/>)。
Figure 3. Homepage image of Biome.

データ提供に関しては要相談としている部分でもあるため、今後の展開が注目される。また音声データや目視のみデータが登録できない点や、ユーザーによるプロジェクト設立ができない点などもひとつの課題となっている。

市民科学の課題

市民データは広域的に生物の分布情報を集める効果的なツールになりうるが、これまで様々な課題が挙げられてきた。ここでは先行研究から指摘されているデータやデジタル活用に関連する課題を簡単にまとめることで、市民データに今何が必要なのかをまとめた。

種同定精度

市民データはその性質上、専門家ではない一般市民が生物を確認するため、種同定における精度に関しては古くから課題とされてきた (Dickinson et al. 2010 ; Johnston et al. 2022)。これらは特に専門家でも同定が難しい分類群などでは大きな課題になっている。そのためいくつかの市民データを用いたプロジェクトでは、同定が比較的簡単な生物種に絞った設計を敷くことによってこの点を担保している (大澤・和田 2016)。一方で近年では、種同定結果の証明と確認のためにアップロードされた大量の種の写真データを使って、機械学習の手法を用いて写真データから自動的に種を推定してユーザーによる種同定を補助する機能を充実させ、種の同定精度における課題を克服しようとする試みが主流となってきた (Saoud et al. 2020 ; Lotfian et al. 2021 ; 藤木・龍野 2021)。機械学習における種同定精度は教師データとなる種の写真データの量に依存するため、希少種や一般市民の興味を引きにくい分類群など教師データの少ない種ではまだ種同定精度に課題はあるが、今後のデータ蓄積の中で向上していくものと考えられる。一方でこうしたツールによって一般ユーザーの使い勝手が良くなることにより、逆に自然分布を確認する上では誤ったデータとなる飼育個体 (花壇に咲く花や動物園など) の報告が増える問題もあり、野生生物の分布を調べる目的での活用では、後々のデータ解析前のデータクリーニングは依然として必要な状況といえる (Worthington et al. 2012 ; Rasmussen 2019)。

サンプリングバイアス

生物の分布を調べる際は、なるべく空間均一的、もし

くはランダムに調査を行う必要がある。しかし市民データは得てして人口の多い都市近郊や市民調査を主導する大学や博物館などがある地域に観察データが集中してしまうため、このサンプリングバイアスが大きな課題となっている (Dickinson et al. 2010 ; van der Wal et al. 2015)。こうしたサンプリングバイアスは、空間分布におけるものだけでなく、特定の季節における現象を捉えるフェノロジーのような時間的な分布の上にも存在していることが報告されている (van der Wal et al. 2015)。日本のサケの遡上でも、最も見頃になる最盛期に市民データの報告が集中しすぎてしまい、フェノロジーの始まりや終わりの時点の報告が非常に少ないことが報告されている (佐橋ほか 2020)。こうしたサンプリングバイアスを観察時に補正する試みは (少なくとも広域多種を扱うデジタルプラットフォーム上では) 無く、対象種以外の種における報告を使って時空間的にどの領域で観察数が多いかという調査努力量を考慮して解析する (Milanesi et al. 2020) など、データ解析時に対処するしかないことが現状となっている。

特殊データの観測不足

サンプリングバイアスとも大きく関連するが、生物種のデータの中でも北限や南限付近における分布や、開花・初鳴きなどのフェノロジーなど、一部分のデータながら気候変動に対して敏感に反応すると考えられる特殊データの観測は、多くの生物種において足りていないと考えられる。分布の南限・北限は、その種がもっとも強く環境によるストレスを受ける場所であり、気候変動による年々のちょっとした環境変化にも影響を受けやすい場所と考えられる (Lenoir and Svenning 2015 ; Rumpf et al. 2019)。またフェノロジーも、生物が行動を開始・終了するタイミングの発現にその年の気象が強く影響するため、気候変動の影響を検出しやすい対象である (Richardson et al. 2013 ; Denny et al. 2014)。こうした生物種データの中でも特殊な箇所における観測は、迅速に気候変動影響を検出するためにも重要であるが、現状では多くの種において、特に強くバイアスのかかる市民観測ではカバーしきれていない。こうした課題を克服すべく、Biome による「令和2年度 気候変動いきもの大調査 (冬編)」 (<https://ccbio.jp/news/report-2020-winter>, 2022 年 6 月 3 日確認) では、気候変動による分布変化が予想される生物種を対象にすることによって、10 種の鳥類における越冬地の北上や、5 種の昆虫類における分布の拡大の傾向など一定の成果を得ているが、より多くの種で簡易的

に特殊データやその時間変化のデータが集まる仕掛けが必要と考えられる。

市民とのコミュニケーション・働きかけ

市民科学は市民の方の生活時間をお借りして調査を展開する形を取るため、市民への丁寧な働きかけ（例：わかりやすい手法、定期的な喚起、成果報告）が非常に重要になる調査手法と言える（de Vries et al. 2019；MacPhail and Colla 2020）。こうした丁寧な働きかけがなければ、市民から提供されるデータの質や量が低下してしまう可能性が大きい。そのため参加してもらった市民に対して明確なメリットを提示し続けることができれば、市民参加型プロジェクトの成功は難しいものになることが指摘されている（Silvertown 2009；大澤ほか 2013；大澤・和田 2016）。そこで近年では SNS を通じた市民と研究者のコミュニケーションを通して、プロジェクトの活性化を図るようになってきている（Sullivan et al. 2014；宮崎 2016）。一方で生物の観察記録の入力の仕方や、どこに行けば対象の生物を観察できるのかといった様々な問い合わせが頻繁に生じるため、その対応にかかる労力の課題もある。こうしたコミュニケーションに関する部分は市民科学における課題でもある反面、これらの活動を通して普及啓発を狙うという側面もあるため、計画的にプロジェクトのタスクに折り込んでおくことが望まれる。

事業の継続性

他の多くのプロジェクトと同様に、市民科学におけるプロジェクトでも、その継続性は大きな課題となっている。予算的な課題もさることながら（Silvertown 2009；Frigerio et al. 2018）、参加している市民のやる気に大きく継続可能性を左右される市民データでは（de Vries et al. 2019；MacPhail and Colla 2020）、継続は難しいものと捉えた方が良く考えられる。どうやって市民が関心を維持し続けやすい工夫を折り込むか、気候変動影響のモニタリングのように長期的な継続性が必要とされる調査を市民の参加により実施する際には、特に注意が必要と考えられる。また、たとえ実施期間を限られたプロジェクトであっても、プロジェクトの目的として期間内で均質な調査努力量が必要な場合、参加する市民の関心を維持し継続性を担保するのは重要な課題と言える。また市民の方の協力のもと調査を行うと言っても、市民ボランティアへの謝礼や、上述の市民とのコミュニケーション、集めたデータの解析等には予算や人員が必要となる。デ

ジタルプラットフォームの運営コストが必要な場合もあり、例え無料で提供されるデジタルプラットフォームであっても、その継続性を図る上で寄付などの予算措置が必要な場合が多い（Pearce-Higgins et al. 2018）。こうした状況を含めて事業の継続性を図る必要があるが、一方でどこまで出来たらプロジェクトを完了とするのか、「この変化が観測できたら終了」といったゴール設定をある程度事前に明確にするやり方もあるだろう。科学的な意義としては長期観測が非常に重要な場合が多いが（Dornelas et al. 2014；Bussotti and Pollastrini 2017；Taylor et al. 2019）、市民科学の場合ユーザーである市民にとっての意義・便益を汲み取り、最大化することがプロジェクト運営側に求められる。そのため市民科学でゴールを設定せずに長期観測を実現するには様々な工夫が必要である。じっと自然のありようやその移り変わりを観測し続けることを、子供の成長を見守るように楽しむ文化の発信・醸成など、意識改革やそれをサポートするデジタルシステムの構築が今後の課題の一つとなるだろう。

今後のデジタル展開の可能性

これまでの市民データにおけるデジタルプラットフォーム設計は、データを取るところまでの視点が強かった。しかもデータを収集する際に有用なツールの提示もなく、「目の前の生物を報告する」作業までで止まっている状況の中で、上述の課題が露呈してきたと考えられる。種同定精度の問題に関しては人工知能判定を用いた改善が図られるようになってきたが（Saoud et al. 2020；Lotfian et al. 2021；藤木・龍野 2021）、そのほかの課題に関しては是正の動きは見られていない。そうした中で、取得されたデジタルデータを利用した解析・モデリングのツールを使えば、こうした課題を克服してデータの質・量を改善するとともに、市民のやりがいや楽しみを向上させ、プロジェクトの継続性を上げることが可能と考えられる（図4）。気候変動や人為攪乱などの変動環境下における生物の変化を理解し、楽しんでいくデジタルな仕掛けを構築していくため、ここではそのデータ利活用のアイデアのいくつかについて述べる。

既存データの見える化による観測バイアスの検出・是正

ユーザーである一般市民側からすると、データの報告作業は、何も描かれていない真っ白な地図の上に自分の報告した生物分布の点データを落としていく作業に近いと感じることは多いと思われる。その感覚は既に報告さ

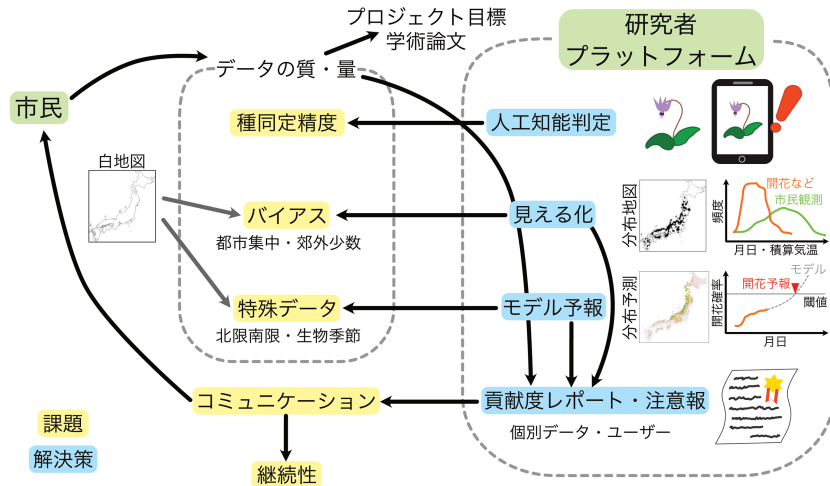


図4. デジタル展開による既存課題の解決。既存の市民科学における課題として、報告データの種同定精度、時空間的なデータのバイアス、分布限界や生物季節などの特殊データの不足、ユーザーとのコミュニケーション、プロジェクトの継続性などが挙げられているが、画像による種名の人工知能判定、データ分布の見える化、分布や開花などのモデル予測値の提供、個別ユーザーへの貢献度レポートや注意報の発信などの解決策をデジタルプラットフォーム上で施すことにより、課題の解決が期待できる。

Figure 4. Solutions for problems in citizen science are obtained with digital techniques. The main challenges in citizen science are species identification, spatiotemporal data bias, shortage of specific data within the distribution limits and phenology, limited communication with participants and the continuity of each project. To solve these challenges, photo-based species identification using artificial intelligence, the visualization of observed distribution data, the provision of model predictions for species distributions and phenology and contribution reports for the data observed by each citizen should be useful.

れているデータでどこまで分布が描けているのかがユーザーに見えていないために生じており、先述の3つのデジタルプラットフォームにおいても、iNaturalist 以外の2つではスマートフォン上で特定の種の分布を見ることができていない。白地図上に自分で点を落として埋めていく作業は、ともすれば徒労感をもたらし、ユーザーのやる気を急速に減衰させる可能性がある。中には継続してデータを収集してくれるユーザーもいるため、現在でも膨大なデータが蓄積されつつあるが、ユーザーのデフォルト地図が白地図であるがゆえにデータ全体としては大きなサンプリングバイアス（都市部の観測重複、農村部の観測の穴）が生じてしまっている。

これらの状況を改善するため、これまで観測されてきたデータを使って、ユーザーの地図を白地図から種ごとの既報告の分布地点データを書き加えた地図に切り替えていくことが今後必要になると考えられる。その上で、観測を厚くする必要がある場所・種（例：農村部・森林、大学・博物館が無いなど観測の薄い場所、一般人に見過ぎされがちな種）を積極的に観測し、逆に観測をこれ以上厚くする必要がない場所・種（例：都市部で報告が過大に重複している普通種）での追加情報を回避させていく工夫をしていくべきであろう。具体的には、観測が必要な場所・種における報告には多くのポイントやバッジ

などの報酬を設けたり、そうした場所・種を掲示し情報や意見の共有が可能なネット上の掲示板を設けたりすることなどが考えられる。また、観測が必要な場所の近辺で報告しているユーザーに直接「この種は見られないでしょうか？」という問い合わせをある程度自動的に発送するプログラムを作成しておくことも有用であろう。観測の多い場所・種に関しても、既存の観測記録の地図を表示することである程度緩和できると考えられる。こうした操作は一方で市民のやる気を阻害したり、新たな観測バイアスを生じさせる可能性も考えられるため、情報提供の方法やデータ処理上の注意点は今後さらに議論する必要がある。これらに留意した上で、市民観測における重大な課題である観測バイアスを是正し、客観的に重要なデータのある程度方向づけて、なおかつ種分布地図という新しいツールを使って市民が楽しめる場が構築できるように工夫すると、将来的な市民データの重要性や意義の向上に役立つだろう。

種分布における空間的な観測網の穴以外にも、フェノロジーなどにおける時間的な観測の穴（例：満開と比較して市民の関心が弱まる咲き始めや咲き終わりの観測の欠如）も存在している（佐橋ほか 2020）。こうした時間的な観測網の穴も、横軸に月日や積算気温（フェノロジーの発現に強く影響する温かさや寒さの積算値：（Delbart

et al. 2015 ; Sato and Sato 2015 ; Zhou et al. 2016)) を置いて、観測頻度を縦軸に描いた図などで見える化することができる。そうした図上に、例えば開花や紅葉、初見など既存の生物季節観測データも載せることによって、生物季節観測で必要とされる観測時期に対し、プロジェクトの観測網にどれほどの時間的バイアスがあるのかが分かる (図 4)。こうした時間的なバイアスの見える化は、気象庁による継続的な観測が中止された生物季節の観測を市民観測で拡充させていく動き (「生物季節モニタリング」 https://adaptation-platform.nies.go.jp/plan/institute_information/information_01.html, 2022 年 6 月 3 日確認) の中で、重要な機能を果たすと考えられる。またいつその生物の季節が終わるのかという点は、落葉を観測している数種の樹木種以外では観測がなく、新たな観測対象として市民データの的にも学術的にも面白い話題になるかもしれない。そうした新たな気づき・動きを誘発するためにも、既存データをうまく見える化して公開していくことが必要と言える。

モデルに基づく予報による特殊データ拡充

地図を得てまだ描かれていない観測の穴を埋める航海に漕ぎ出す際、もう一つ必要なものがある。それが船の進むべき道を指し示すコンパスである。そのようなコンパスは、集められたデータを使ったモデルの構築を通して、観測の穴の中でもある程度分布確率の高い優先的に確認すべき場所の予測や、将来的な気候変動に対する分布移動の予報情報がその役割を担えると考えられる。温暖化に伴う分布の北進などを検出する際も、全国どの場所でも同様の調査努力量で常にモニタリングし続けるのは労力的に無駄が多い。これらの課題に対し、モデルによる予測をもとに、北進個体群の到達確率が高い場所・時期を見据えてそうした場所・時期に観測注意報を出せる体制にすることによって分布北限という特殊データの観測を省労力化できる。開花・初鳴きなどある一瞬の生物現象を捉えるフェノロジーの観測では、分布を主な観測対象とする現状のデジタルプラットフォームでは観測しきれていないが、さながら天気予報のように、「そろそろ咲き・鳴きそうなので、観測してみてください」などのモデル予報で各地域のユーザーに観測注意報を出せれば観測効率はかなり上昇すると考えられる。またこうした予報は、ユーザーが楽しむ上でも有効であると考えられる。予報で示唆された場所・時間で観測してみたら本当にいた場合の喜びや驚きは大きなものであり、やる気の向上や生物多様性や気候変動に関する普及啓発の効果

が望めるものである。予測における分布確率の大小に応じて、確率が低いのに分布があった場所などを重要なデータとして高ポイントに換算して報酬をつけていくことも、ゲーム性を向上させる良い手になるかもしれない。逆にいなかった場合でも、重要なデータとして収集する体制を構築してその意味をユーザーに伝えつつ、なぜいなかったのかを専門家も交えて考える場を作れば、大いに楽しめるものになると考えられる。フェノロジーの予報に対しても、ユーザーの観測対象である個体の遺伝的特徴や微気象の影響によって個体差が生じるため、予測日からずれることは大いにあり得る。しかしそうした個体の癖を感じ取ることは、観察個体に対する愛着をユーザーに喚起させ、市民レベルで気候変動による自然の変化を感じ取れる体制・文化を育めると考えられる。

しかし批判を恐れずに言えば、こうしたモデル予報は特にリリース初期は大いに外れることが考えられる。それは既存データの質・量的な限界 (Milanesi et al. 2020 ; Feldman et al. 2021) やモデルにおいて想定しきれていない課題 (例：分散速度、種間相互作用) (Briscoe et al. 2019 ; De Kort et al. 2020) が存在しているためである。こうした限界はデータの少ない種であるほどに大きなものとなる。しかしそこで予測精度が低いからと言って公開を諦めるのではなく、不十分なモデルではあるものの、みんなでデータや機能を付け加えることによって、実用的なレベルになるまでモデルを育ててあげようという意識づけをユーザーまで含めて行いつつ、研究者と一緒に理由の検討やモデルの改善を行って行けると、理想的と考えられる。そのための 1 つの手段として、GitHub などを通したモデルのオープンソース化なども有効と考えられる (例：「Wallace」 (<https://wallaceecomod.github.io/>, 2022 年 6 月 3 日確認))。

個別市民への貢献度レポートによる成果還元

データを提供してくれた市民への成果還元は、市民データを展開する際の最も大事な部分でありながら、これまでなかなか進んでこなかった部分である (de Vries et al. 2019)。バイアスの大きな市民データでどこまで科学的にモノが言えるのかという難しさもある中で、それでも「みなさんのデータを全て使ってここまで分かりました」という報告は既存プロジェクトでも行われてきた (Bonney et al. 2014 ; 大澤・和田 2016 ; Sullivan et al. 2017)。しかし、個別のユーザーごとに報告されたデータがどんな意義を持っているのかに関しては、これまで労力的な課題もあって殆ど報告されてこなかった。「自分の

送ったデータがどれほどの意味があったのだろうか？」という疑問は参加した多くの市民の感じるところであろう。これに明確に答えるために、市民一人一人の貢献に対する勲章のような貢献度レポートを作れば、市民のやる気を増進させてデータ量や質を向上させ、プロジェクトの継続性も向上させることが見込まれる。例えば、「あなたの観察した〇〇〇のデータは、この種にとって最も寒い／暑い／雨の多い場所におけるデータでした」というメッセージをデジタルプラットフォームから市民に送付できれば、その種の環境ニッチを描くのに貢献できたことや、種の分布移動の観測に貢献できたことを市民に伝えられ、大きな還元ができると考えられる。しかしこうしたきめ細かなレポートをユーザー一人一人に提供するのは膨大な労力が必要になると考えられるため、データ解析を通して個別データの意味を判断し、個別の市民へメールを送るところまでを自動で行うプログラムを構築する必要がある。市民から提供されたデータをどう解析して、どう見せていくか、その戦略を練り、デジタルなプログラムを使って展開していくことが、ユーザー数の維持・拡大を通じたプロジェクトの継続性を図り、さらにデータの質・量を改善させていく上で重要と

考えられる。ただし人間はどうにも飽きやすい生物であるため、プログラムによるレポートの出し方をある程度定期的に切り替えていき、飽きさせない工夫を継続する必要がある。

前述の既存データやモデル予報の見える化も含めて、ユーザーへの還元は、ともすれば面倒な作業とも取られかねないものである。しかしきちんと還元をすることは、ユーザーの意欲向上に伴う継続性の担保以外にも大きなメリットを有している。データの見える化によりバイアス補正されたデータはより正確な科学的エビデンスの提供を可能にし、観測不足になりがちな北限や開花・初鳴きといった特殊データの拡充は気候変動影響の警鐘を鳴らす即時警報として有用性が高い。またモデル予報を市民に還元し、市民からその検証データとして新たな観測値を提供してもらうことで、モデル改善やそれに伴う将来的な適応策などの介入時期・量の見直しが図れる。こうした研究や行政にとってのメリットを発揮させるためにも、貴重なパートナーである市民ユーザーへの還元を積極的に行う必要がある。

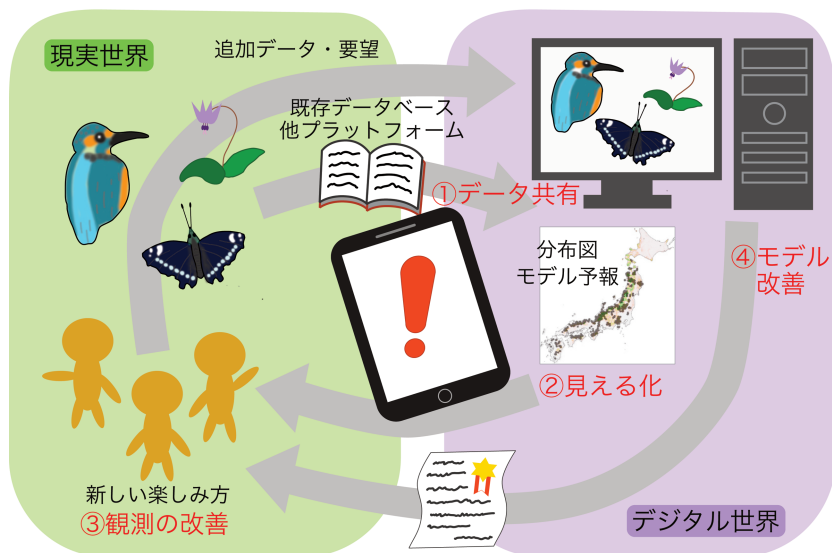


図5. 現実世界とデジタル世界の好循環を通じた市民観測の活性化。データ共有、見える化、観測の改善、モデル改善という順序で、現実世界の情報をデジタル世界でうまく解釈し、その解釈をシェアして使うことにより現実世界での観測をより良く・楽しいものにする。こうした循環を通して市民科学はさらに活性化できる。

Figure 5. Activation of citizen science through desirable circulation between the real and digital worlds. Data sharing, data visualisation and model improvement will effectively capture real-world information in the digital world. The obtained digital knowledge will improve real-world observations, enhancing the enjoyment phase of the observations. This desirable circulation can further activate citizen science.

リアルとデジタルの循環

野外の生き物のデータを取り込み、デジタル展開を強化していくことを通して、現実世界とデジタル世界の好循環(図5)を成し遂げることで、今後の市民データはさらに活性化していくと考えられる。ここでは最後にこの現実世界とデジタル世界の循環を意識しつつ、各段階において考えられる課題を述べる。

データ共有

この論文では3つの市民データデジタルプラットフォームを紹介したが、この3つのデジタルプラットフォーム間でもデータ共有はやりきれていないのが現状である(データ共有における課題(Pearce-Higgins et al. 2018)もあるが)。また市民データ以外の専門家による調査データベースも多数存在しており、そうした既存データをまとめて格納し、共有していくデジタルプラットフォームの構築(例:GBIF)が望まれる。現状においても様々なプロジェクトでこのデータ共有は打ち出されており、いきものログなどでは既に行政などが行った既存調査データの格納を行なっている。しかしAPIなどを通じた統合データベースの共有や、スマートフォンなどのユーザー利用環境での見える化までは至っていないのが現状である。データベース間のデータ重複やそれによるバイアスの拡大・縮小やそれに対する処理、完全にはオープンになっていないまたはできないデータの扱いなども課題として挙げられる。共有データのプラットフォームとして長期的にデータを保存する必要性を考えると、公的な機関などによる安定的な環境構築が望ましい。しかしデータを維持・活用していく上での必要経費(データ精査や利便性の向上にかかる人件費、サーバーの維持費など)を考えると、企業やベンチャー等との連携などからデータを利活用した有益なサービスを形成して社会に提供し、データの持つ意義の認知を広め、公的な資金だけに頼らずに提供するサービスに対する対価を得ることで経済的な持続可能性を図る必要がある。こうしたデジタルデータの長期的な維持・利用のための経営戦略は、「OpenStreetMap」(<https://www.openstreetmap.org/>)や「Mapillary」(<https://www.mapillary.com/>)といったクラウドソーシング型プロジェクトの先行事例も参考にしながら、データシェアとともに考えるべき課題と言える。

データの見える化

集められたデータを集計して、分布図やフェノロジー

のグラフ表示などを行い、さらにモデルによる時空間推定結果などを表示することによって、データの見える化をデジタル世界で拡充させていく必要がある。この際の課題は、見える化したデータベースの構築もさることながら、膨大な種別データをユーザーがスムーズに利用するためのデジタルプラットフォームデザインや、注目する種の特種データ箇所の抽出方法の検討などが考えられる。

データを用いた観測の改善

データやモデル予測結果が見える化された上で、現実世界における観測をどう改善させていくのか、プロジェクトの展開やユーザーとのコミュニケーションなども含めて戦略を次に考える必要がある。この段階での課題は、種の出現を確認する際に生じてくる不在情報(Kelling et al. 2019; Milanesi et al. 2020)の集計方法や、デジタルプラットフォームあるいは解析者から発せられる「○○を探してみてください」といった観測注意報(メールやメッセージなど)を可能にするためのアプリ上での許認可(システム面+契約面)の追加などが考えられる。他にもスマートフォンのGPSトラッキングデータなどを使って、別の課題である調査努力量の定量化(観察ルート距離や観察時間など)(Kelling et al. 2019; Milanesi et al. 2020)も含めて格納できるシステムが構築できると、モデル改善を図る上で有用性の高いデータになると考えられる。またデータを公開した上で、研究者側からのコミュニケーションだけでなくユーザー側から検討して欲しい課題の提案など、ニーズを抽出していく作業も大切である。データを眺めて、もしくは普段の観察で、気づいたことや気になったことを、市民から研究者に問いかけたり提案したりする場や窓口を積極的に設けるべきである。

追加データを用いた更なるモデル改善

データを見て追加される最新のデータは、デジタル世界につなげることによって再度モデルの改善を可能にする。またモデル改善における貢献度レポートなどもこの段階に相当し、ユーザーへの還元を通して更なる循環を呼び起こす事が見込まれる。このプロセスを通して生き物の変化を理解し、改善されたモデル予測を使ってさらに楽しんでいく世界が描ければ、市民科学は新たな展開を誘発していくと考えられる。この段階での課題としては、新たに得られたデータを逐一手動で追加していく作業も煩雑になると予想されるため、ある程度プログラミングによってモデル改善部分も半自動化していくことな

どがある。どのようなモデルにおいて予測力が高いのか、またどうやって追加データを用いたモデル改善をプログラムすれば良いのかなどは、機械学習など新たな研究が必要な部分とも考えられるが、プログラミングが可能な市民科学者やシステムエンジニアを対象として、こうした部分の技術者育成や競技大会などができると、さらに面白い展開になることが期待できる。ユーザーへの観測注意報も含めて、観測から解析にかけて適度にプログラムによる自動化を敷くことにより、重要性の高いデータを少ない手間で集めることができる枠組みを作れることは、研究者にとっても大きなメリットと言える。その実現には、モデリング技術の拡充・向上だけでなく、ユーザーへの適切な働きかけ方を人間の行動科学などからアプローチする必要もあるだろう。

おわりに

近年のスマートフォンの出現などによって、市民データは劇的な変化を遂げ、新しい生物多様性の観測ツールとして大きく発展してきている。しかし一方で集められたデータをうまく使い、生物現象に関する一般的な知見を得るプロセスは、未だに研究者側に独占されているように感じられる（まだまだ論文化は十分ではないが（Theobald et al. 2015））。そうした部分を補い、現地の観測を改善するとともに、市民レベルでより広く深く生物多様性を感じて理解できる体制や文化的な風土が構築されれば、気候変動や人為攪乱による変動をいち早く検出できるだけでなく、豊かな社会が構築できると考えられる。デジタル世界はコピーしてシェアすることが容易なため、科学的な理解を基に現実世界を再現したデジタル世界を構築すれば、市民を含む多くの人がデジタル世界も参照・比較しながら現実における生物の保全や自然史を捉えることができる。気候変動や人為攪乱、外来種の侵入定着による将来的な生物の変化予測や、それに対する様々な適応策や保全策の効果、さらにはその人為的な介入による失敗すらデジタル世界では試行・共有できる。そのためこのツールは私たちの自然の理解を飛躍的に高めるポテンシャルを有している。

一方でデジタル世界の挙動は必ずしも現実とは同一ではないため、現実のモニタリングと並行して捉える必要があるが、科学的な理解を基に構築されたデジタル世界と現実との差異こそまさに、さらに理解を促進する重要なデータである。まだデジタル世界に導入しきれていない、野外観測の専門家の知見や伝統知も豊富にあるため、

今後データ化の技術が進めばそれらのデジタル保存も将来世代への継承や自然の捉え方の改善という意味で重要と言える。現地における自然の観測が重要であることは改めて論ずるまでもないが、それに加えてデジタル世界を通して科学的な捉え方を誰もがシェアできる体制を構築することは、研究者にとっても、市民の楽しみにとっても有用性が高いものと考えられる。

一方で新しい技術の導入に伴い初めて顕在化してくる倫理的な問題への対処も今後必要になるだろう。以前から議論されてきたデータの帰属や使用方法に関する問題から、プログラムベースの（とすれば受け手である市民にとっては煩雑な）アラートメールの発信などに関する問題、またプロジェクトの持続可能性を担保するための商業的なデータ利用時には、著作権、知的財産権や利益相反などの課題・問題が山積する可能性がある。オープンソースであることが多い市民科学では、これらの倫理的課題をその都度市民と対話しながら整理し、対策の枠組みを更新し続ける体制を設けることで、安全性や信頼を獲得する努力を示すべきである。

かつて市民科学は科学データとしての正確性の点で疑問視される風潮もあったが、上述したようなデジタルツールを用いた近年の改善で収集されるデータの量や質が向上し、様相は大きく変わってきている。またデジタルプラットフォームにおける市民科学では、多少の不確実性はあるものの、膨大なデータ量を瞬時に得られるという大きな利点がある。こうした中、今後さらなる研究者の市民科学への参画を促すことも、新たな学術領域を展開していく上で重要である。ユーザーである市民と研究者とのコミュニケーションからモデルの検証を行う部分では、自然生態系における近未来の短期予測という比較的新しい課題における技術の向上が進むと考えられる。その技術は、レッドリスト種などの保全だけでなく、企業の情報開示における活用も期待できる。また市民の認知領域への適切で効果的な働きかけ方を追求する部分も、人間の行動科学やデジタルツールのデザイン、統計的なデータ処理、社会学や経済学の視点が入る余地もあり、学際的な新規性が期待できる。こうした新たな学術領域の知見を、デジタルプラットフォームを通じて実社会へスムーズに還元する流れまでを構築し、研究者と市民双方にとって有意義な場とすべきである。

謝 辞

本研究は、国立環境研究所による気候変動適応研究プ

プログラムの支援を受けて行われた。

著者情報

ORCID iD

Dai Koide <https://orcid.org/0000-0002-1535-9652>

Shohei Tsujimoto <https://orcid.org/0000-0003-3427-1725>

Naoki Kumagai <https://orcid.org/0000-0003-1144-4339>

Makihiko Ikegami <https://orcid.org/0000-0002-7760-7973>

Jun Nishihiro <https://orcid.org/0000-0002-7353-3970>

引用文献

Acorn JH (2017) Entomological citizen science in Canada. *Canadian Entomologist*, 149:774-785. <https://doi.org/10.4039/tce.2017.48>

Armeth A, Shin YJ, Leadley P, Rondinini C, Bukvareva E, Kolb M, Midgley GF, Oberdorff T, Palomo I, Saito O (2020) Post-2020 biodiversity targets need to embrace climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 117:30882-30891. <https://doi.org/10.1073/pnas.2009584117>

Barlow J, Lennox GD, Ferreira J, Berenguer E, Lees AC, Mac Nally R, Thomson JR, Ferraz SFD, Louzada J, Oliveira VHF, Parry L, Solar RRD, Vieira ICG, Aragao LEOC, Begotti RA, Braga RF, Cardoso TM, de Oliveira RC, Souza CM, Moura NG, Nunes SS, Siqueira JV, Pardini R, Silveira JM, Vaz-de-Mello FZ, Veiga RCS, Venturieri A, Gardner TA (2016) Anthropogenic disturbance in tropical forests can double biodiversity loss from deforestation. *Nature*, 535:144-147. <https://doi.org/10.1038/nature18326>

Bland LM, Collen B, Orme CDL, Bielby J (2015) Predicting the conservation status of data-deficient species. *Conservation Biology*, 29:250-259. <https://doi.org/10.1111/cobi.12372>

Bonney R, Shirk JL, Phillips TB, Wiggins A, Ballard HL, Miller-Rushing AJ, Parrish JK (2014) Next steps for citizen science. *Science*, 343:1436-1437. <https://doi.org/10.1126/science.1251554>

Briscoe NJ, Elith J, Salguero-Gomez R, Lahoz-Monfort JJ, Camac JS, Giljohann KM, Holden MH, Hradsky BA, Kearney MR, McMahon SM, Phillips BL, Regan TJ, Rhodes JR, Vesk PA, Wintle BA, Yen JDL, Guillera-Aroita G (2019) Forecasting species range dynamics with process-explicit models: matching methods to applications. *Ecology Letters*, 22:1940-1956. <https://doi.org/10.1111/ele.13348>

Bussotti F, Pollastrini M (2017) Observing climate change impacts on European forests: What works and what does not in ongoing long-term monitoring networks. *Frontiers in*

Plant Science, 8:629. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00629>

Cardinale BJ, Duffy JE, Gonzalez A, Hooper DU, Perrings C, Venail P, Narwani A, Mace GM, Tilman D, Wardle DA, Kinzig AP, Daily GC, Loreau M, Grace JB, Larigauderie A, Srivastava DS, Naeem S (2012) Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature*, 486:59-67. <https://doi.org/10.1038/nature11148>

Caro T, Rowe Z, Berger J, Wholey P, Dobson A (2022) An inconvenient misconception: Climate change is not the principal driver of biodiversity loss. *Conservation Letters*, e12868. <https://doi.org/10.1111/conl.12868>

Chandler M, See L, Copas K, Bonde AMZ, Lopez BC, Danielsen F, Legind JK, Masinde S, Miller-Rushing AJ, Newman G, Rosemartin A, Turak E (2017) Contribution of citizen science towards international biodiversity monitoring. *Biological Conservation*, 213:280-294. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.09.004>

Conrad CC, Hilchey KG (2011) A review of citizen science and community-based environmental monitoring: Issues and opportunities. *Environmental Monitoring and Assessment*, 176:273-291. <https://doi.org/10.1007/s10661-010-1582-5>

De Kort H, Baguette M, Lenoir J, Stevens VM (2020) Toward reliable habitat suitability and accessibility models in an era of multiple environmental stressors. *Ecology and Evolution*, 10:10937-10952. <https://doi.org/10.1002/ece3.6753>

de Vries M, Land-Zandstra A, Smeets I (2019) Citizen scientists' preferences for communication of scientific output: A literature review. *Citizen Science: Theory and Practice*, 4:2. <https://doi.org/10.5334/cstp.136>

Delbart N, Beaubien E, Kergoat L, Toan TL (2015) Comparing land surface phenology with leafing and flowering observations from the PlantWatch citizen network. *Remote Sensing of Environment*, 160:273-280. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.01.012>

Denny EG, Gerst KL, Miller-Rushing AJ, Tierney GL, Crimmins TM, Enquist CAF, Guertin P, Rosemartin AH, Schwartz MD, Thomas KA, Weltzin JF (2014) Standardized phenology monitoring methods to track plant and animal activity for science and resource management applications. *International Journal of Biometeorology*, 58:591-601. <https://doi.org/10.1007/s00484-014-0789-5>

Dickinson JL, Zuckerberg B, Bonter DN (2010) Citizen science as an ecological research tool: Challenges and benefits. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 41:149-172. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-102209-144636>

Dornelas M, Gotelli NJ, McGill B, Shimadzu H, Moyes F, Sievers C, Magurran AE (2014) Assemblage time series reveal biodiversity change but not systematic loss. *Science*, 344:296-299. <https://doi.org/10.1126/science.1248484>

Feldman MJ, Imbeau L, Marchand P, Mazerolle MJ, Darveau

- M, Fenton NJ (2021) Trends and gaps in the use of citizen science derived data as input for species distribution models: A quantitative review. *Plos One*, 16:e0234587. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0234587>
- 藤木 庄五郎, 龍野 瑞甫 (2021) モバイル端末を用いた生物多様性モニタリング手法開発に向けた市民科学の実践. *日本生態学会誌*, 71:85-90
- Frigerio D, Pipek P, Kimmig S, Winter S, Melzheimer J, Diblikova L, Wachter B, Richter A (2018) Citizen science and wildlife biology: Synergies and challenges. *Ethology*, 124:365-377. <https://doi.org/10.1111/eth.12746>
- Habibullah MS, Din BH, Tan SH, Zahid H (2022) Impact of climate change on biodiversity loss: Global evidence. *Environmental Science and Pollution Research*, 29:1073-1086. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15702-8>
- Harrison PA, Berry PM, Simpson G, Haslett JR, Blicharska M, Bucur M, Dunford R, Egoh B, Garcia-Llorente M, Geamana N, Geertsema W, Lommelen E, Meiresonne L, Turkelboom F (2014) Linkages between biodiversity attributes and ecosystem services: A systematic review. *Ecosystem Services*, 9:191-203. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2014.05.006>
- Johnston A, Matechou E, Dennis EB (2022) Outstanding challenges and future directions for biodiversity monitoring using citizen science data. *Methods in Ecology and Evolution*. <https://doi.org/10.1111/2041-210x.13834>
- Kelling S, Johnston A, Bonn A, Fink D, Ruiz-Gutierrez V, Bonney R, Fernandez M, Hochachka WM, Julliard R, Kraemer R, Guralnick R (2019) Using semistructured surveys to improve citizen science data for monitoring biodiversity. *Bioscience*, 69:170-179. <https://doi.org/10.1093/biosci/biz010>
- Lenoir J, Svenning JC (2015) Climate-related range shifts - A global multidimensional synthesis and new research directions. *Ecography*, 38:15-28. <https://doi.org/10.1111/ecog.00967>
- Lepetz V, Massot M, Schmeller DS, Clobert J (2009) Biodiversity monitoring: Some proposals to adequately study species' responses to climate change. *Biodiversity and Conservation*, 18:3185-3203. <https://doi.org/10.1007/s10531-009-9636-0>
- Liebenberg L, Steventon J, Brahman I, Benadie K, Minye J, Langwane H, Xhukwe Q (2017) Smartphone icon user interface design for non-literate trackers and its implications for an inclusive citizen science. *Biological Conservation*, 208:155-162. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.04.033>
- Lotfian M, Ingensand J, Brovelli MA (2021) The partnership of citizen science and machine learning: Benefits, risks, and future challenges for engagement, data collection, and data quality. *Sustainability*, 13:8037. <https://doi.org/10.3390/su13148087>
- MacPhail VJ, Colla SR (2020) Power of the people: A review of citizen science programs for conservation. *Biological Conservation*, 249:108739. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108739>
- Milanesi P, Mori E, Menchetti M (2020) Observer-oriented approach improves species distribution models from citizen science data. *Ecology and Evolution*, 10:12104-12114. <https://doi.org/10.1002/ece3.6832>
- 宮崎 佑介 (2016) 市民科学と生物多様性情報データベースの関わり. *日本生態学会誌*, 66:237-246
- 大澤 剛士, 山中 武彦, 中谷 至伸 (2013) 携帯電話を利用した市民参加型生物調査の手法確立. *保全生態学研究*, 18:157-165
- 大澤 剛士, 和田 岳 (2016) 市民参加による広域を対象とした生物調査の可能性 - 近畿2府4県における駅のツバメ営巣調査結果およびデータ公開 -. *Bird Research*, 12:R1-R8
- Parmesan C, Yohe G (2003) A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, 421:37-42. <https://doi.org/10.1038/nature01286>
- Pearce-Higgins JW, Baillie SR, Boughey K, Bourn NAD, Foppen RPB, Gillings S, Gregory RD, Hunt T, Jiguet F, Lehtikoinen A, Musgrove AJ, Robinson RA, Roy DB, Siriwardena GM, Walker KJ, Wilson JD (2018) Overcoming the challenges of public data archiving for citizen science biodiversity recording and monitoring schemes. *Journal of Applied Ecology*, 55:2544-2551. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13180>
- Pettorelli N, Smith J, Pecl GT, Hill JK, Norris K (2019) Anticipating arrival: Tackling the national challenges associated with the redistribution of biodiversity driven by climate change. *Journal of Applied Ecology*, 56:2298-2304. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13465>
- Rasmussen LM (2019) Confronting research misconduct in citizen science. *Citizen Science: Theory and Practice*, 4:10. <https://doi.org/10.5334/cstp.207>
- Richardson AD, Keenan TF, Migliavacca M, Ryu Y, Sonnentag O, Toomey M (2013) Climate change, phenology, and phenological control of vegetation feedbacks to the climate system. *Agricultural and Forest Meteorology*, 169:156-173. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2012.09.012>
- Rumpf SB, Hulber K, Zimmermann NE, Dullinger S (2019) Elevational rear edges shifted at least as much as leading edges over the last century. *Global Ecology and Biogeography*, 28:533-543. <https://doi.org/10.1111/geb.12865>
- 佐橋 玄記, 丸山 緑, 有賀 望, 森田 健太郎, 岡本 康寿, 向井 徹, 水本 寛基, 植田 和俊, 藤井 和也, 渡辺 恵三, 大熊 一正, 荒木 仁志 (2020) 市民参加型調査で集めた位置情報付き生物写真にサンプリングバイアスは存在するか? - 市民と専門家の遡河性サケマス関連撮影データの比較から -. *保全生態学研究*, 25:1930. <https://doi.org/10.18960/hozen.1930>

- Saoud Z, Fontaine C, Lois G, Julliard R, Rakotoniaina I (2020) Miss-identification detection in citizen science platform for biodiversity monitoring using machine learning. *Ecological Informatics*, 60:101176. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2020.101176>
- Sato Y, Sato S (2015) Spring temperature predicts the long-term molting phenology of two cicadas, *Cryptotympana facialis* and *Graptopsaltria nigrofuscata* (Hemiptera: Cicadidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 108:494-500. <https://doi.org/10.1093/aesa/sav036>
- Scheffers BR, De Meester L, Bridge TCL, Hoffmann AA, Pandolfi JM, Corlett RT, Butchart SHM, Pearce-Kelly P, Kovacs KM, Dudgeon D, Pacifici M, Rondinini C, Foden WB, Martin TG, Mora C, Bickford D, Watson JEM (2016) The broad footprint of climate change from genes to biomes to people. *Science*, 354:aaf7671. <https://doi.org/10.1126/science.aaf7671>
- Silvertown J (2009) A new dawn for citizen science. *Trends in Ecology and Evolution*, 24:467-471. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2009.03.017>
- Silvertown J, Cook L, Cameron R, Dodd M, McConway K, Worthington J, Skelton P, Anton C, Bossdorf O, Baur B, Schilthuizen M, Fontaine B, Sattmann H, Bertorelle G, Correia M, Oliveira C, Pokryszko B, Ozgo M, Stalazas A, Gill E, Rammul U, Solymos P, Feher Z, Juan X (2011) Citizen science reveals unexpected continental-scale evolutionary change in a model organism. *Plos One*, 6:e18927. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0018927>
- Sullivan BL, Aycrigg JL, Barry JH, Bonney RE, Bruns N, Cooper CB, Damoulas T, Dhondt AA, Dietterich T, Farnsworth A, Fink D, Fitzpatrick JW, Fredericks T, Gerbracht J, Gomes C, Hochachka WM, Iliff MJ, Lagoze C, La Sorte FA, Merrifield M, Morris W, Phillips TB, Reynolds M, Rodewald AD, Rosenberg KV, Trautmann NM, Wiggins A, Winkler DW, Wong WK, Wood CL, Yu J, Kelling S (2014) The eBird enterprise: An integrated approach to development and application of citizen science. *Biological Conservation*, 169:31-40. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.11.003>
- Sullivan BL, Phillips T, Dayer AA, Wood CL, Farnsworth A, Iliff MJ, Davies IJ, Wiggins A, Fink D, Hochachka WM, Rodewald AD, Rosenberg KV, Bonney R, Kelling S (2017) Using open access observational data for conservation action: A case study for birds. *Biological Conservation*, 208:5-14. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.04.031>
- Taylor SD, Meiners JM, Riemer K, Orr MC, White EP (2019) Comparison of large-scale citizen science data and long-term study data for phenology modeling. *Ecology*, 100:ecy.2568. <https://doi.org/10.1002/ecy.2568>
- Theobald EJ, Ettinger AK, Burgess HK, DeBey LB, Schmidt NR, Froehlich HE, Wagner C, HilleRisLambers J, Tewksbury J, Harsch MA, Parrish JK (2015) Global change and local solutions: Tapping the unrealized potential of citizen science for biodiversity research. *Biological Conservation*, 181:236-244. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.10.021>
- Toomey AH, Domroese MC (2013) Can citizen science lead to positive conservation attitudes and behaviors? *Human Ecology Review*, 20:50-62
- van der Wal R, Anderson H, Robinson A, Sharma N, Mellish C, Roberts S, Darvill B, Siddharthan A (2015) Mapping species distributions: A comparison of skilled naturalist and lay citizen science recording. *Ambio*, 44:S584-S600. <https://doi.org/10.1007/s13280-015-0709-x>
- Wang D, Xiang Z, Fesenmaier DR (2014) Adapting to the mobile world: A model of smartphone use. *Annals of Tourism Research*, 48:11-26. <https://doi.org/10.1016/j.annals.2014.04.008>
- Willemien L, Cottam AJ, Drakou EG, Burgess ND (2015) Using social media to measure the contribution of red list species to the nature-based tourism potential of African protected areas. *Plos One*, 10:e0129785. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0129785>
- Worthington JP, Silvertown J, Cook L, Cameron R, Dodd M, Greenwood RM, McConway K, Skelton P (2012) Evolution MegaLab: A case study in citizen science methods. *Methods in Ecology and Evolution*, 3:303-309. <https://doi.org/10.1111/j.2041-210X.2011.00164.x>
- Zhou JH, Cai WT, Qin Y, Lai LM, Guan TY, Zhang XL, Jiang LH, Du H, Yang DW, Cong ZT, Zheng YR (2016) Alpine vegetation phenology dynamic over 16 years and its covariation with climate in a semi-arid region of China. *Science of the Total Environment*, 572:119-128. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.206>