

熱帯農業ハンドブック



JICA LIBRARY



J 1158352 (3)

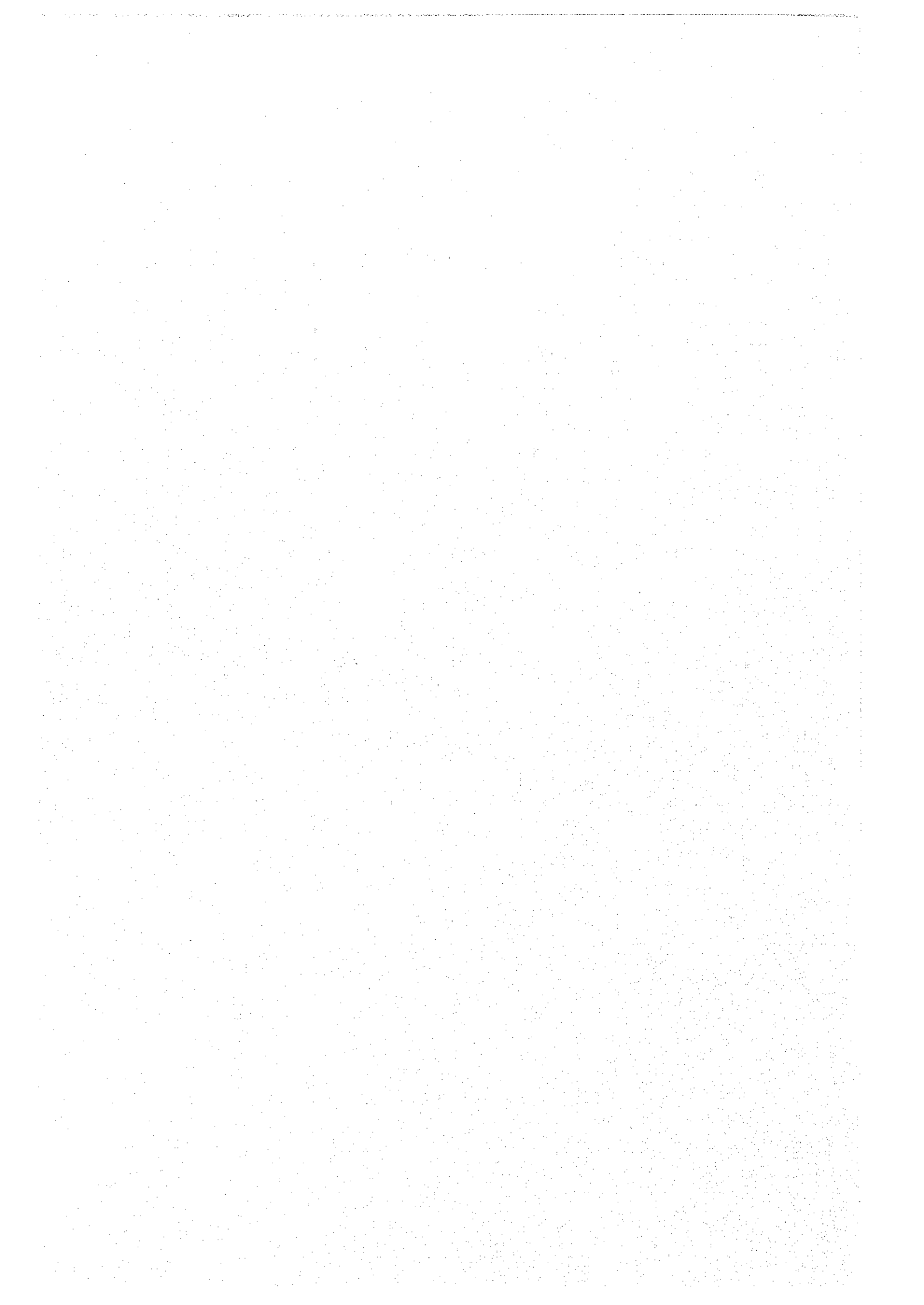
平成 11 年 4 月

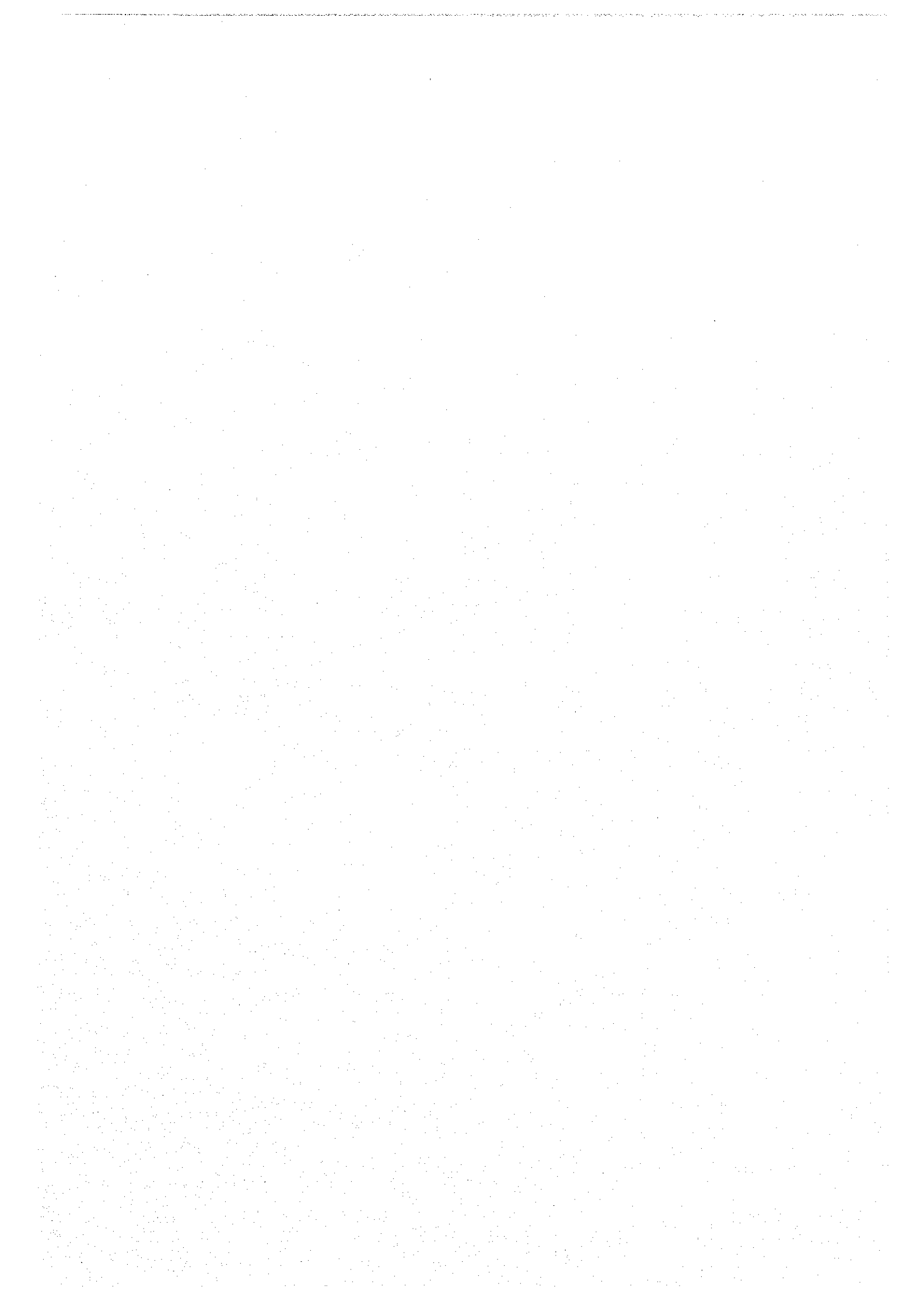
国際協力事業団
青年海外協力隊事務局

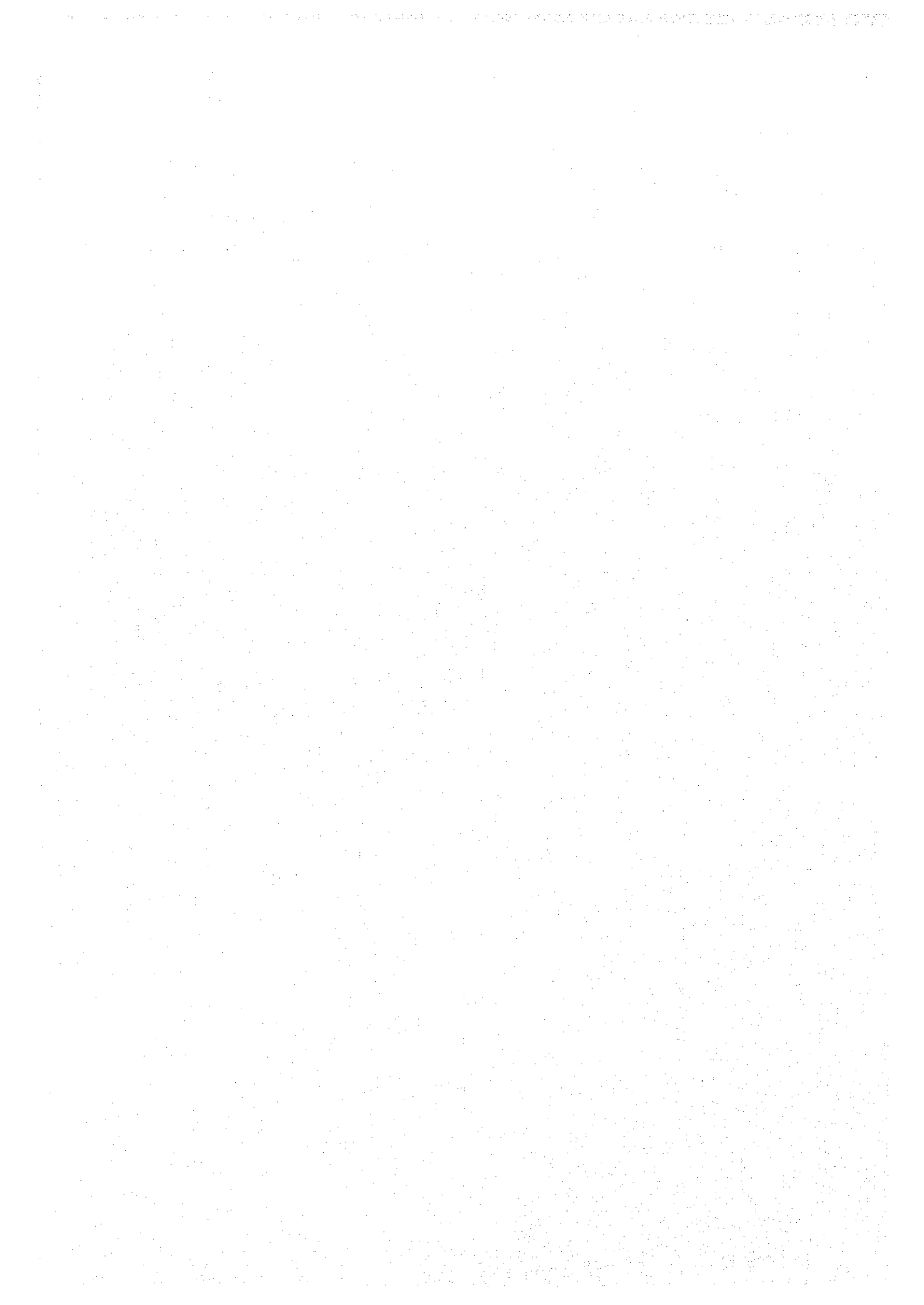
青国三

JR

99-08







熱帯農業ハンドブック

平成11年4月

国際協力事業団
青年海外協力隊事務局



1158352 [3]

まえがき

本書は、青年海外協力隊（農業分野）の隊員が現地で活動する際に利用する実践技術の参考書です。

温帯地域、日本での農業については、いろいろと体験している隊員も、熱帯地域での農業の実際については、十分な知識や経験を積んでいません。

農業は“自然に学ぶ”といわれており、その地域の気象や土壌などの自然環境や、そこに生活している人々の社会環境も含めて、ひとつひとつ謙虚に学ぶことが大切です。何れにしても、農業技術の基本となる学理は共通していますが、具体的な実践技術になると、それぞれの自然および社会環境を勘案し、現地に適応する技術を創造し、臨機応変に対応することが必要になります。

したがって、それぞれの技術について、その理論と実際を十分過ぎるほど理解し、その実体験を踏まえて現地の立地条件に応用し、その場に適応する実践技術にしなければなりません。このことは並大抵な業ではありません。

本書は、まず序論で、熱帯農業の実践技術の前提となる熱帯の自然環境と、これから農業がめざす方向について述べてあります。つぎに、第1章では、いろいろな熱帯作物の栽培管理について、基本技術として身につけていなければならないことを述べています。また、第2章では、これから21世紀に向けて、新しい技術として着目すべき課題について、その定義と実際をまとめてあります。さらに、第3章では、青年海外協力隊のO. B. および農業分野の専門家の方々の活動の中から、参考になる現地有用技術を収集しました。最後に、第4章では、隊員の派遣されている国について、農業に参考になる統計資料を収録しました。

本書を思い立ったのは、私が青年海外協力隊事務局技術顧問（農業分野）を委嘱され、まず隊員の活動を現地に視察し、直接学ぶ機会に恵まれたことです。次に、貴重な隊員の報告書の中には素晴らしい現地有用技術を活用されていることを知ったからです。これから活躍される隊員に、是非この実践技術を役立てて頂きたいのが、そもそもの動機です。本書が、新しく農業分野で活躍される隊員の現地活動の一助になることを念願して止みません。

本書の企画から出版まで、ご尽力とご激励を頂いた青年海外協力隊事務局の皆様、とく

に国内第三課の谷川与志雄課長、技術顧問室の加福優子さんには、何かとご便宜を頂きました。ここに感謝の意を表します。

また、本書の編集に当たっては、東京農業大学・国際食料情報学部・国際農業開発学科・熱帯園芸学研究室の高橋久光助教授、小塩海平助手、および農学専攻の大学院博士課程、増岡彩子、吉田綾子院生には、全般に亘って惜しみない協力を頂きました。

さらに、青年海外協力隊O. B. で、東京農業大学・宮古亜熱帯農場の中西康博講師、栗田夏子助手、および大学院国際農業開発学専攻の加藤愛樹、八角貴夫、高橋康晴、牧野立志院生には、青年海外協力隊での経験を踏まえて、本書の編集に終始献身的な協力を頂きました。

なお、資料の収集整理に当たっては、国際農業開発学科の学生、青木達矢、中村隆寛、今村春香、関麻里、西村優子、佐々井純、岩田真由美、中田早保、伊藤環、碓井竹美、皿良千恵、平塚真遊、高橋浩、新野央子の皆さんに、ボランティアとして、心温まる協力を頂きました。

ここに記して、ご尽力頂いた皆様に深甚なる感謝の意を表します。

1999. 3. 31 技術顧問退任の日に

太田保夫

<目 次>

序 論 熱帯農業を学ぶに当たって

1	熱帯地域の自然環境	1
1.	熱帯の気候条件	1
2.	熱帯の土壌	6
2	熱帯圏の生態系	10
1.	生態系概念	10
2.	熱帯圏の降雨と植物生態系	10
3.	熱帯雨林生態系の役割	11
4.	熱帯地域の高原地帯の植物生態系	12
5.	熱帯の生態系と生産力	12
6.	熱帯地域の気候帯と作物	13
3	環境に優しい農業の実践技術の創造と開発	15

第1章 栽培の基本

1-1	イネ	17
1-1-1	イネの一生	17
1-1-2	栽培管理	18
1-2	野菜	29
1-2-1	気候条件	29
1-2-2	土壌条件	31
1-2-3	育苗	32
1-2-4	圃場管理	34
1-2-5	養分欠乏	35
1-2-6	貯蔵・運搬	38
1-3	果樹	40
1-3-1	果樹の種類	40
1-3-2	果樹の一生	42
1-3-3	果樹の栽培管理	42
1-3-4	熱帯地域における果樹栽培の特色	54

1-3-5	熱帯における果樹栽培の注意点	54
-------	----------------	----

第2章 これからの農業技術

2-1	アグロフォレストリー	57
2-1-1	アグロフォレストリーとは	57
2-1-2	途上国における森林資源の減少と土壌の劣化	58
2-1-3	アグロフォレストリーの実践	58
2-1-4	アグロフォレストリーの組み合わせ	61
2-1-5	社会的条件	62
2-1-6	むすび	63
2-2	堆肥・ボカシ肥の作り方	64
2-2-1	堆厩肥の作り方	64
2-2-2	ボカシ肥の作り方	66
2-2-3	各有機質資材の特性	67
2-3	不耕起栽培	79
2-3-1	不耕起栽培とは	79
2-3-2	不耕起栽培の利点と問題点	79
2-3-3	ダイズ・コムギの不耕起栽培技術	88
2-3-4	むすび	94
2-4	間・混作と輪作	95
2-4-1	作付体系の略史	95
2-4-2	輪作	96
2-4-3	間作、混作	97
2-4-4	連作障害	97
2-4-5	熱帯における間・混作、輪作	98
2-5	病虫害と自然農薬	100
2-5-1	総合的病虫害管理 (IPM : Integrated Pest Management)	101
2-5-2	総合的生物多様性管理 (IBM : Integrated Biodiversity Management)	102
2-5-3	天敵の保護と農薬	102
2-5-4	自然農薬	103

2-6	小規模栽培と家族の栄養バランス	115
2-6-1	土地の有効利用（多種品目の輪作・混作栽培）	115
2-6-2	家庭菜園	115
2-6-3	家庭菜園における作業および注意点	117
2-6-4	家庭でのゴミ処理と堆肥化	119
2-7	砂漠緑化技術	121
2-7-1	砂漠化の現状	122
2-7-2	砂漠緑化技術	123
2-7-3	ジブチにおける砂漠の緑化	126

第3章 現地の有用技術

3-1 アジア、太洋州編

	水稲の水苗代の表面を平らにする方法	133
	水田均平法（現地名称 ポールワ）	134
	いかだ苗代（現地名称 Semai Rakit）	134
	セミダボッグ苗代における苗取り法（現地名称 ラップ・ラップ法）	135
	種初めの保存法	136
	角材けん引による均平・碎土・代掻き作業（現地用具名 Chonki）	137
	水稲並木植え用すじ付け器（現地名称 マーカー、アナ・ダト・ポールワ）	138
	田植え棒を使った深水田で田植法（現地用具名 Kuku Kambing）	139
	水稲芽出し直播栽培の本田排水溝の作り方	140
	直播直前・直後の水田内で簡易排水溝をつくる方法	141
	高温下における湛水直播水稲の発芽・苗立ちの改善	142
	鳥獣害を防ぐ方法（現地名称 Pengusir Burung /Hamapadi）	142
	アゾーラの水田緑肥としての利用	143
	稲作害鳥排除（現地名称 Layang-Layang /Bajau語）	144
	脱穀おけを使ったイネの脱穀作業（現地名称 Tong pukul padi）	145
	米のパーボイルド加工	146
	加熱圧偏式精米加工（現地名称 チューラ）	147
	スイカ種子の催芽	148

ウリ類種子の催芽法	149
バナナの皮茎利用の野菜育苗鉢 (現地名称 ケセル・パトゥル・ポーチ)	150
野菜の雨よけ育苗法	151
キャベツのひこばえによる増殖育苗法	152
キャベツのひこばえ利用による二回どり	153
野菜の高床育苗 (現地名称 Phok Luk Cin)	154
草による苗木の根巻き	155
無灌漑畑における乾期ジャガイモ栽培法	156
ホテイソウ敷草による乾期のジャガイモ栽培法	156
マメ科植物とキャッサバの混植 (現地名称 ミスラ ワガー キリーマ)	157
トウモロコシ、ラッカセイとインゲンマメの混作	158
畑作物増収のための籾殻くん炭の利用	159
河原の砂地を利用したスイカの深穴栽培法	159
バナナの茎を使った日覆い法	160
ココヤシの枯れ葉の利用	161
環状はく皮による花芽形成の促進および接ぎ木活着率の向上	162
普通のナイフでできるマンゴの芽接ぎ (現地名称 Cantuman mata tunas)	163
ミバエ防除のための袋かけ	165
ボトルゴート大型果菜類の栽培法 (現地名称 Bottle gourd=Lau、ベンガル語)	166
竹材を利用した移植ごとや網張り用くいの作り方	167
素焼きつば利用の乾期ウリ科作物の栽培 (現地名称 コルシーチャシ)	167
カンコンの水面栽培	168
アブラヤシの搾りかすを用いたマルチング (現地名称 hampus kelapa sawi)	169
スイカ苗の虫害を防ぐ技術	170
籾殻灰によるマメゾウムシの防除	171
おとり作物によるダイズカメムシの防除—ツノクサネムの利用—	171
珪藻土剤によるマメゾウムシの防除	172
トカドヘチマの栽培によるウリハムシ被害の回避	173
種子の簡易な貯蔵法	173
インドセンダンを用いた貯蔵害虫の防除	174

雨期における野菜種子の保存方法	174
野菜などの鮮度を保つ箱詰め姿勢	175
くず綿を利用したマッシュルーム栽培 (現地名称 Cendawan Tiram Putih)	176
食塩による放牧牛群の管理	177
熱帯における豚舎構造の工夫	177
ヤギのえさ棚	178
アヒルの太陽熱利用ふ卵器	179
発芽、発根力の強い樹種による牧柵作り	180
暖地型牧草の栄養繁殖による増殖技術	181
家畜外傷の後療法	182
古タイヤを利用した給餌器	183
簡易な井戸水くみ上げポンプ (現地名称 Pompa Tali)	183
落流水利用揚水ポンプ	184
水圧を利用した簡易浅井戸掘り	185
籾殻を燃料とする調理用かまどの製作	186
ヤーフェークの等高線栽培	187

3-2 中南米編

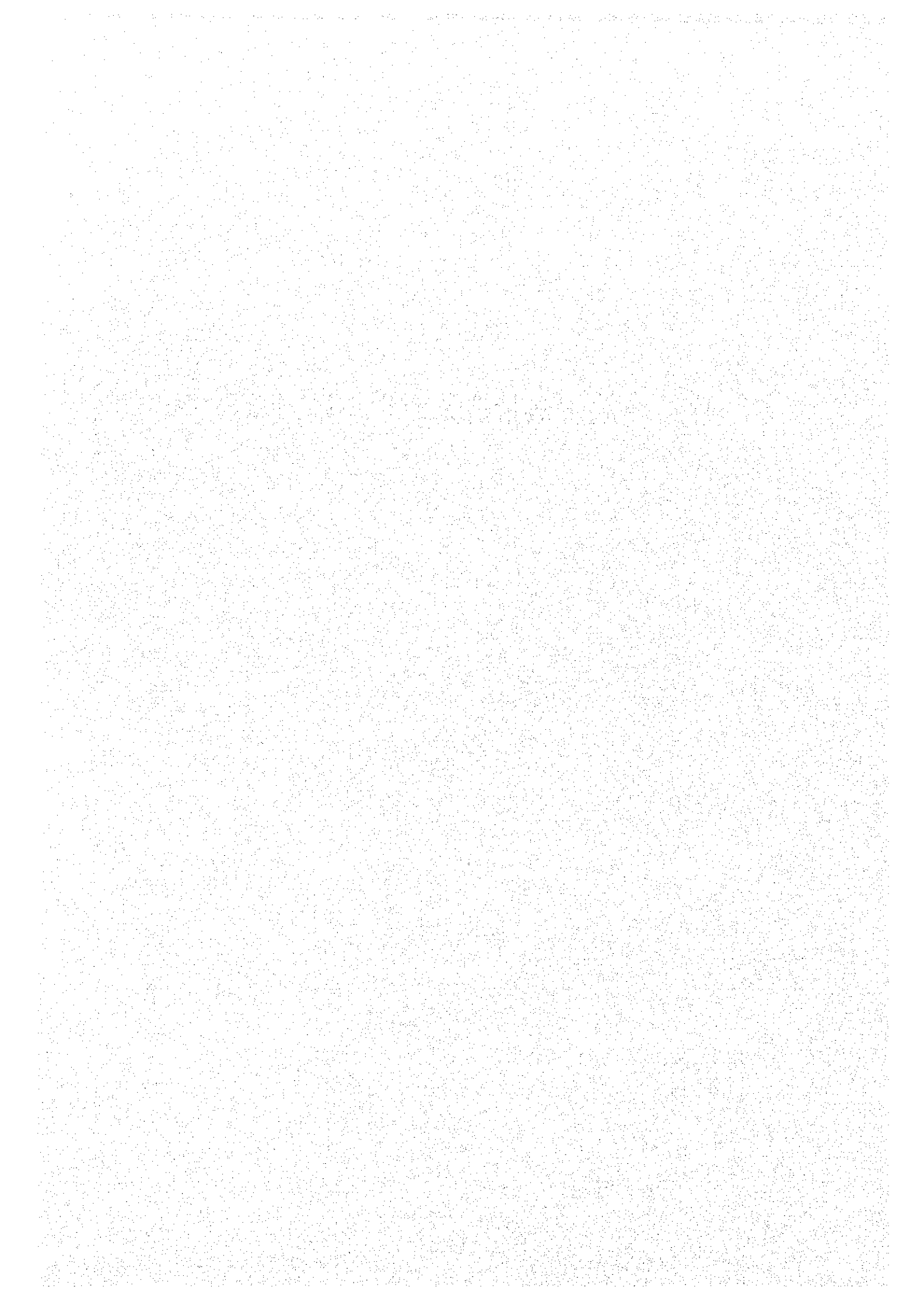
パッションフルーツを利用した果樹・野菜の育苗	189
苗床への灰散布によるアリの食害防除	190
育苗時におけるアリ害の低減	190
トマトの夏期における定植方法	191
トウモロコシ、ダイズの簡易な人力播種器	192
空びんを利用したニンジン種子の簡易播種器	193
カボチャ栽培における間作	194
野菜栽培における簡便なつぼ施肥方法	195
廃物カヌーを利用した高床式野菜栽培	196
素焼きつぼ利用の灌漑栽培	196
高塩類濃度土壌における畦間灌漑	197
傾斜地小規模農業—等高線栽培	198
トウモロコシの立毛保存法	199

自然農薬の作り方	201
3-3 アフリカ編	
水田のアゾラの利用	205
自転車のスポークを利用した脱穀機	205
マングローブ、バナナの葉を用いた取水ぜき	206
野菜の苗床で蚊帳を利用した鳥、虫害防除	207
強日射・強雨からの苗の保護	208
サイザルの葉を利用した野菜幼苗の遮光法	208
中古カセットテープを利用した育苗床の防鳥テープ	209
タマネギ移植（早植え）器の作製	210
太陽熱を利用した土壌消毒	211
定植後の簡易中耕	211
トウモロコシ栽培などの緩傾斜地における畦立て	212
袋掛けによるウリ類のウリミバエ防除	213
素焼きの鉢を使ったマッシュルームづくり	213
畦間の土壌表層の天地返し	214
日干しレンガ利用の堆肥作り	215
ミレット殻、落花生殻を使った燻炭の製法と利用	216
セネガルにおける堆肥の実例	217
セネガルにおける自然農薬の実例	219
マメ科作物とトウモロコシ、キャッサバなどの混植	222
野菜畑におけるイピルイピル（ギンネム）の生け垣	222
干害、湿害に対応した混作	223
畑の境界線上の植栽	223
葉菜類などの栽培のための水盤灌漑法	224
緩傾斜地野菜畑における畦間灌漑	225
ドラム缶を利用した井戸からの灌水	226

第4章 統計資料

統計資料	227
------	-----

序 論 熱帯農業を学ぶに当たって



1 熱帯地域の自然環境

温帯地域の自然環境と熱帯地域の自然環境は随分違ってきます。“農業は自然に学ぶ”といわれています。まず、熱帯の自然環境について、農業に係わりの深い気象と土壌条件について学びます。

1. 熱帯の気象条件

農業に深く関連する気象要因としては、気温、日照、降雨および風があります。温帯地域と対比しながら、熱帯の気象条件の特徴について述べてみます。

(1) 熱帯の気温

熱帯圏の気温は、年平均気温がおよそ20℃以上で、年間を通じての気温の変動が小さく、その較差は5℃に過ぎません。熱帯地域の気温変動は、太陽の南北回帰線の間の運行によって大きく影響され、それぞれの地域で太陽が真上に位置するときに、最高気温を示します。また、季節風によって乾期と雨期が分かれている地域では、降雨の有無が気温に影響を与え、乾期の終わるころ最高気温になり、雨期に入ると気温は下がります。

なお、熱帯の600mを越える高原地域は、熱帯でありながら温帯の植生になります。標高が100m高くなるごとに気温が0.6℃下がるからです。したがって、熱帯の高原地域は、温帯の野菜や果樹が一年中よく生育します。日中はかなり高温になりますが、夜間は涼しくなり、気温の日較差が大きく、色彩の鮮やかな花や高品質の野菜や果物が生産されます。このように水さえあれば、熱帯の高原は、農業を始めるのにはたいへん魅力的なスポットです。ただし、生産した青果物を市場まで輸送する流通の問題が先決です。

(2) 熱帯の日照

熱帯の太陽照度は、最高13万ルクスを越えるほど強く、光合成飽和照度（4～5万ルクス）からみても日射が強すぎます。たとえば、キュウリ、インゲン、ヨウサ

イなどは 3分の 1程度の遮光によって却って増収します。野菜の育苗期は、寒冷紗やヤシの枯れ葉で遮光し、幼苗を強い日射から保護することが大切です。強い日射は、照度ばかりでなく、土表面の温度を高め異常高温により、根の生育に悪影響を与えます。敷わらマルチが効果的です。

熱帯では日の出と共に急に明るくなり、日没と共に急に暗くなります。日長時間は 12時間前後で、季節的な変化は小さく、生物的に有効な薄明薄暮の時間も短いのがその特徴です。

したがって、熱帯の植物は日長時間の変化に敏感に反応する光周性をもつ作物や品種もあります。一方、温帯の短日性作物を熱帯に導入して栽培すると、開花が異常に早まることもあります。たとえば、短日性の日本稲品種を熱帯で栽培すると、苗代末期から異常出穂し、分けつしながら数か月に亘って、雑草のように出穂の続くこともあります。

(3) 熱帯の降雨と蒸散量

赤道に近い赤道低圧帯は、あまりはっきり区別はできませんが、乾期と雨期が年 2 回繰り返されます。年中万偏なく熱帯特有のスコールが通り過ぎ、年間降雨量は 2000mm 以上になります。

赤道から少し隔てた熱帯地域では、太陽の運行に伴って年に一回ずつ乾期と雨期が訪れます。

さらに、南北回帰線に近づくと、乾期と雨期が明らかに分かります。

なお、亜熱帯高圧帯には、太陽が高い季節に短い雨期のある半乾燥地帯と乾燥地域(砂漠地帯)があります。

熱帯のスコールは、日中に熱せられた地面近くの空気が急上昇し、入道雲となって豪雨が短時間降り続くものです。スコールは、雨期の初めは夕方降りますが、雨期の終わるころは昼ごろ降ります。

熱帯では、雨期から乾期への変化もドラマチックです。乾期になると、それまで緑であった耕地や草原が、急に灼熱の太陽の下で、土はこちこちに乾き、生草は干し草のように枯れ上がります。

やがて、乾期から雨期に変わるときは、こちこちに乾いた土がスコールによって水分を含んで蘇ったように柔らかくなります。農民は、機を失せず農地を耕し、種子を

播き始めます。雨期の最初の雨“ファーストレインを逃すな”というのが、熱帯季節風地帯の農民の知恵です。

気候帯は、降水量と蒸散量のバランスで区分されています。蒸散量より降雨量が多い地帯は湿潤気候帯、降雨量より蒸散量が多い地帯は乾燥気候帯と呼ばれます。

湿潤気候帯の土壌は、水は上層から下方に向かって浸透し、土壌粒子に付着している塩類を溶脱し、土壌を酸性化させます。一方、乾燥気候帯の土壌は、水は下層から上方に向かって毛細管現象によって上昇し土壌表面から蒸散します。地表面に塩類を集積し、土壌をアルカリ性に傾けます。

したがって、湿潤気候熱帯と乾燥気候熱帯では、土壌の性質が全く異なり、農業の方法や作物の栽培管理の方法も、当然のことですが違ってきます。

なお、熱帯圏の降雨量は、年次間変動がたいへん大きく、洪水や干ばつが同時に起こることがあります。このように、気象変動の大きい熱帯での農業は、温帯に比べてたいへん難しいのです。

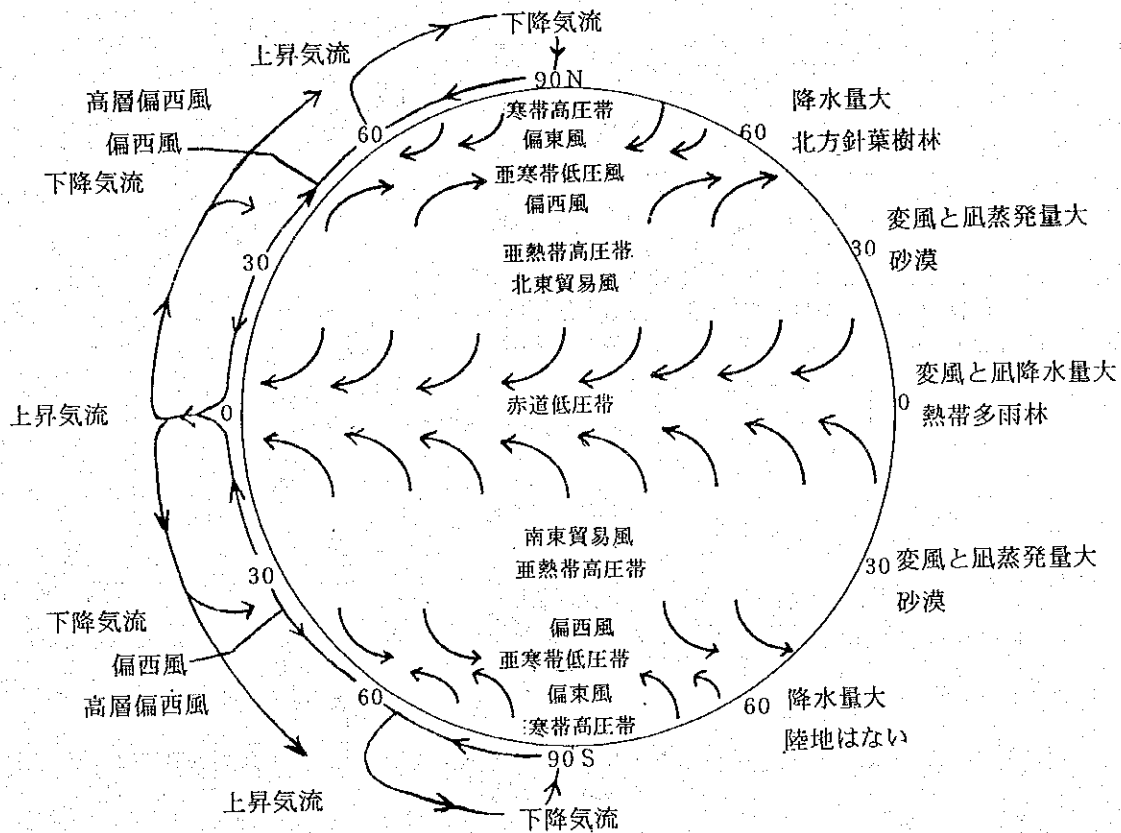
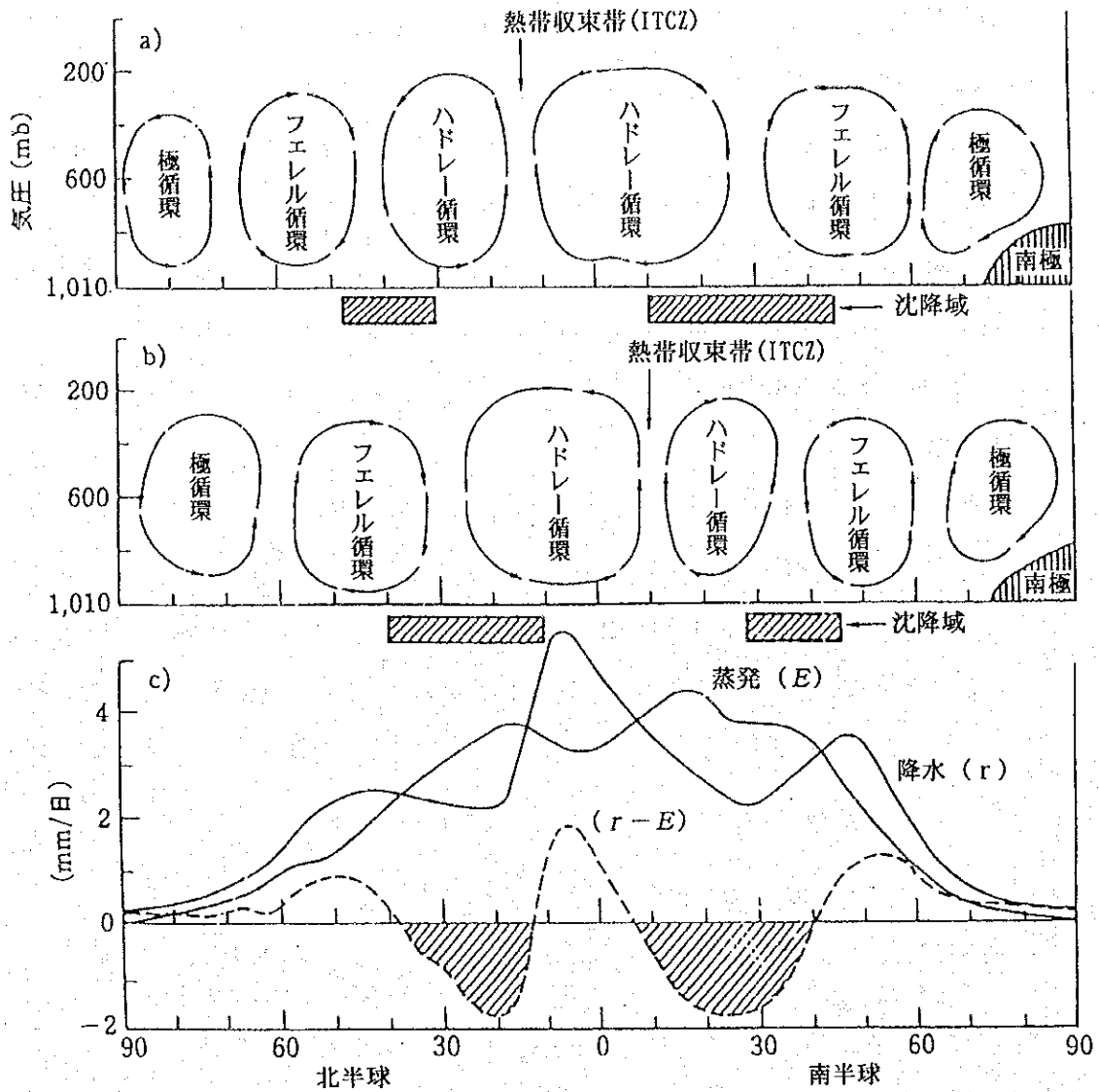


図1 地球上での大気循環



- a) ; 北半球の夏（6月～8月）における大気の循環
- b) ; 北半球の冬（12月～2月）における大気の循環
- c) ; 地球上の降水（ r ）、蒸発（ E ）、そのバランス（ $r-E$ ）

図2 地球大気の循環の断面と降水・蒸発の緯度分布
 （浅井1981:Newtonら1972:Louis1974より作図）

(4) 熱帯の風

地球の自転により、絶えず一定の方向から恒常的に吹く風があります。亜熱帯高圧帯から赤道付近の熱帯低圧帯に向かって吹く風が、南・北熱帯偏東風（貿易風）です。昔帆船はこの風に乗って貿易したのです。この地域では、天気は東方から変わってきます。

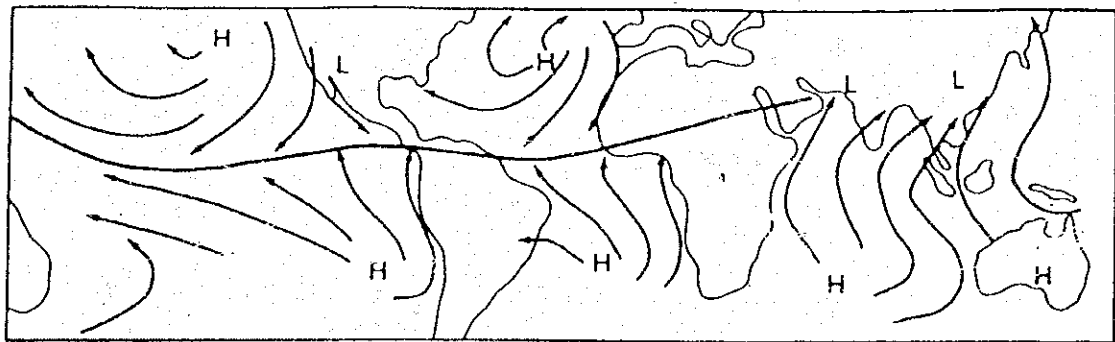
南・北熱帯偏東風が赤道付近で収束し、風の収束するところを熱帯収束帯と呼んでいます。この熱帯収束帯は周年に亘って降雨量が多く、アマゾンやコンゴのように熱帯

雨林を形成しています。

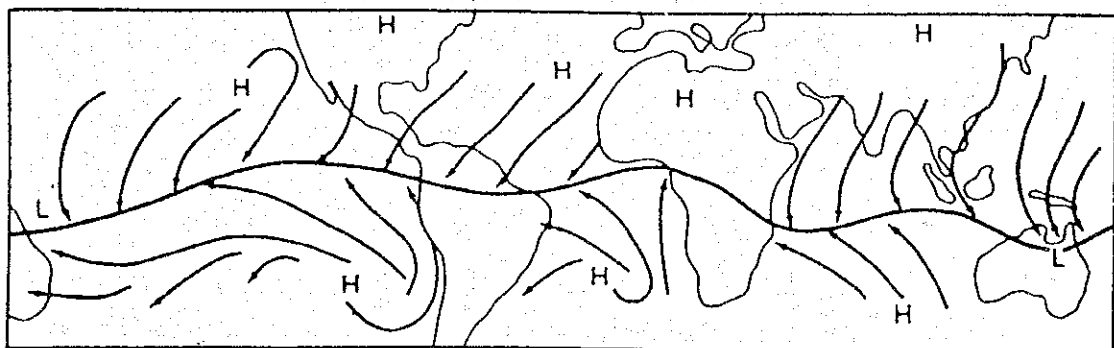
つぎに、季節によって吹く風があります。冬季には、著しく冷却した大陸上に形成される高圧部から海上の低圧部に向かって吹き込みます。夏季は、反対に大陸内部に高温によって形成された低圧部に向かって海から吹き込みます。これが季節風（モンスーン）です。

たとえば、インド地域のモンスーンについてみますと、東北モンスーン期（1～5月）と南西モンスーン期（6～12月）があり、季節によって風向きが反転します。1～5月の東北モンスーン期は乾燥し、6～12月の南西モンスーン期は雨が多く降ります。

熱帯低気圧は、太陽の運行や風の影響をうけ、海上で発達しながら、西または北方に進みます。この熱帯低気圧には、日本・中国・フィリピンに來襲する台風、オーストラリア近海にはウィリーウィリー、インド洋で発生するサイクロン、カリブ海に発生するハリケーンがあります。なお、熱帯低気圧は、その進路周辺に多量の降雨をもたらし、農業を行うのに重要な役割を果たしています。



7月の地表付近の風系 (Riehl 1965)



1月の地表付近の風系 (Riehl 1965)

図3 貿易風と赤道収束帯

(5) 熱帯の気候帯

気候帯には、幾何学によって定めた数理気候帯と気象現象に基づいた物理気候帯とがあります。

(a) 数理気候帯：赤道を中心に南北回帰線（ $23^{\circ} 27'$ ）に挟まれた地域を熱帯圏といます。熱帯圏は地球上の面積の40%を占めています。

(b) 物理気候帯：温度による植生分布や水分量の過不足に着目して区分します。たとえば、熱帯を代表する植物ヤシの生育限界によって区分します。また、年平均気温 20°C 以上を、ひとつの目安としています。

ケッペンの気候区分によれば、熱帯圏は5つの気候区に分けられています。降雨量が蒸散量より勝る湿潤熱帯には、熱帯雨林気候、熱帯季節風気候、および熱帯サバンナ気候があります。また、降雨量より蒸散量の勝る年間降雨量が 500mm 以下の乾燥熱帯には、草原気候および砂漠気候があります。

2. 熱帯の土壌

農業を行うに当たっては、気象条件が何より重要ですが、農作物を栽培する土壌の条件もたいへん重要です。熱帯の土壌は、肥沃度から区分すると肥沃な低地と痩せた台地の土壌に大別されます。

熱帯台地の土壌は風化と洗脱が進み、侵食による表土の流亡が起こり、土壌はたいへん痩せています。一方、熱帯低地の土壌は台地から流亡した養分やシルトが流入し、土壌は比較的肥沃です。

また、熱帯台地の土壌は、土性からみて降雨量が少なく塩基含量の高い土壌と、降雨量が多く、雨水によって塩基類の溶脱した酸性で肥沃度の低い土壌に区分されます。

(1) 熱帯土壌の分類

土壌の分類と命名法には、いろいろな方法があります。ここではアメリカ国務省の包括的土壌分類体系によって述べます。

(2) 熱帯土壌の種類とその特性

熱帯の代表的な土壌の種類とその特性について、降雨量や栽培されている作物に関連づけて述べてみます。

(a) オキシソル (Oxisol) : 酸化物の層をもつ土壌をオキシソルと呼びます。降雨量の多い湿潤熱帯の古い地形に広く分布し、下層に鉄およびアルミニウムの加水酸化物と粘土の混合物が生成した赤色のオキシックB層の存在することがその特徴です。長い間、激しい風化をうけ、雨によって塩基類が溶脱し、痩せた土壌となり、下層までレンガのように赤色を呈しています。ただし、地下水が高い場合は、土色が赤黄色を呈します。

この土壌の粘土含量は15%以上と比較的高く、土性は酸性を示します。物理性は、カオリン系の粘土粒子が、鉄によって固結され、土壌団粒は安定し、侵食に強く、多孔質で透水性もよい方です。熱帯雨林帯に広く分布し、南アメリカのアマゾン流域やアフリカのコンゴ地域がその代表です。

農耕地としての利用は、オキシソルは化学性が貧弱で、強い酸性を示し、リン酸固定能が強く、リン酸肥料が不可給態になりやすいことがその特徴です。また、亜鉛、硫黄などの微量元素の欠乏している場合もあります。土壌管理としては、酸性矯正のための石灰の施用や肥沃度を高める有機質肥料の施用などが重要です。

(b) アルティソル (Ultisol) : アルティソルは、風化と溶脱を強くうけてきた土壌で、オキシソルと同様に、湿潤気候の古い地形に広く分布しています。けい酸質の多い母岩から生成され、下層に粘土集積B層の存在するのがその特徴です。粘土集積層の塩基飽和度は35%以下です。

アルティソルの分布は、降雨量の多い東南アジアに多く分布し、この地域の50%以上は、アルティソルで占められています。南北アメリカやアフリカの熱帯雨林地帯の周辺にも分布しています。

アルティソルは、化学的には、塩基飽和度が低く、強い酸性を示し、作物には塩基類の欠乏や酸性障害が発現します。とくに、リン酸の不可給態化に伴うリン酸欠乏症が発症します。

物理的には、粘土集積b層が存在するため、孔隙率が低く、保水性や透水性が

悪く、作物根の貫入が制限されます。

また、地表面は粘土が洗脱され、シルトが多く、降雨の後、地表にクラスト（土膜）を形成します。

アルティソルの農耕地としての利用は、土壤の物理性と化学性の両面を改善する必要があり、オキシソルよりも困難です。

- (c) アルフィソル (Alfisol) : この土壤は明瞭な乾期をもつ湿潤な熱帯に分布しています。土壤断面をみると赤褐色の粘土集積B層が存在しています。土壤の洗脱は弱く、粘土層の塩基飽和度は35%以上です。

カオリン系の粘土で、陽イオン交換容量は小さいが、塩基飽和度は高く、栄養分は恵まれています。土性は弱酸性で、土壤の構造は多孔質で透水性や保水性がよく、安定した収量を挙げるには肥沃度を高める施肥と侵食防止が必要です。

この土壤の分布する地域は、東北ブラジルの10%、アフリカのサバンナ地帯の20%、アジアではインドやスリランカのドライゾーンに分布しています。

- (d) バーティソル (Vertisol) : バーティソルは明瞭な乾期をもつ季節風気候下の、低地の平坦な土地に分布しています。膨潤性のあるモンモリナイト系粘土を主成分とし、有機物が少ないのに黒色～暗灰色を呈しています。

乾期には、土層深くまで亀裂が入り、雨期には、膨潤して表面が押し上げられます。この収縮と膨潤の反復によって、土壤は攪拌され、厚さ50cm以上の均一な土層が生成されます。

土壤の反応は、中性からアルカリ性で、作物にはリン酸と微量元素の欠乏が発現しやすく、灌漑水稲では亜鉛欠乏が頻発します。

- (e) アリデイソル (Aridisol) : 砂漠地帯の主要な土壤です。乾燥および半乾燥気候をもつ地域に分布し、世界の全土壤のほぼ20%を占めています。主な植生は砂漠性かん木で、降水量が増すと砂漠性草類に変わります。

アリデイソルは、土壤生成の速度は遅く、植生も少なく、有機物含量の少ないのがその特徴です。アリデイソルは風によって発達し、風は土ほこりを動かし、微細の粒子を吹き払います。塩類、炭酸カルシウム、または石膏が地表1m以内に出現するものや、土層に粘土集積b層が出現するものもあります。

熱帯のアリディソルの分布はアフリカが主体です。水不足が土地利用上の最大の制限因子です。近年、たいへん問題となつているアリディソルの砂漠化は、人口増加に伴う過耕作、過放牧、灌漑農法における過灌漑による塩類の地表面への集積によつてもたらされています。

施肥の面では有機物含量が少ないので、堆肥やボカシ肥など有機質肥料の施用の効果は大きいです。土壌のpHは高く、アルカリ性を示し、リン酸、鉄、および亜鉛の欠乏症が発現しやすいといわれています。

(f) ヒストソル (Histosol) : 泥炭土壌のことで、熱帯では遠浅の海岸の潮汐平野に広く分布し、背後の山地から流入する土壌が、マングローブ林の下に堆積して形成される泥炭土壌です。

熱帯泥炭の容積量は $0.05 \sim 0.40 \text{g/cm}^3$ 、真比重は1.4~1.8の範囲で、全孔隙量は75~95%に達します。したがって、土壌が乾燥すると収縮し、地盤沈下の原因になります。土壌pHは3.5~5の強酸性で塩基やリン酸に乏しく、けい酸、銅、および亜鉛の欠乏症が発現しやすいようです。

なお、熱帯泥炭地の開発には、排水が必須で地盤の沈下が問題となります。導入される作物は、酸性に比較的強いイネ、パイナップル、コーヒーなどです。

降雨量の比較的少ない熱帯の土壌には、塩基含量の高い、アルフィソル、モリスソル、バーティソル、アリディソル、インセプトソル、エンティソルがあります。

また、降雨量の多い湿潤熱帯の酸性で肥沃度の低い土壌には、オキシソル、アルティソル、アルフィソル、ヒストソル、および酸性のインセプトソルとエンティソルがあります。

熱帯低地の土壌には、ある期間湛水し、土壌が還元的な条件で経過する土壌を含んでいます。地質的には若い堆積物上に発達しています。これらの土壌としては、インセプトソル、ヒストソルの他に、エンティソル、アルティソル、アルフィソル、バーティソルの一部が含まれています。

2 熱帯圏の生態系

農業を始めるに当たっては、すでに述べた熱帯の自然環境、気象および土壌条件と、そこに生存するさまざまな生物相互の関係を知らなければなりません。熱帯においても、そこに住むすべての動物、植物、および微生物がひとつの共同体として生態系を形成しています。これらの生物群は熱帯の自然環境の影響を受けています。

1. 生態系概念

ある地域に生活する生物群系と、その環境に存在する物質系とは、相互に依存し密接に関係しています。このような生物と環境との相互依存的な系を生態系といいます。

一般に、生態系には、森林とか湖沼のように、マクロな生態系と、水たまりのように、ごく小さいミクロな生態系があります。また、地球全体もひとつの生態系を作っています。これを地球上の生物圏と呼んでいます。

生物圏は、陸上の生態系と水界の生態系に分けられます。水界生態系は海岸、湖沼、河川生態系に分けられます。このような自然環境生態系の他に、人間の影響によつて成立する人為生態系として、耕地や都市の生態系もあります。

2. 熱帯圏の降雨と植物生態系

熱帯圏の生態系は、気象要因とくに降雨量によつて大きな影響を受けています。降雨量が蒸散量に勝る湿潤熱帯には、常緑の熱帯雨林の生態系が分布しています。

熱帯雨林は、周年雨に恵まれ、樹木の生長は極めて旺盛でジャングルを形成します。河口周辺の低湿地にはマングローブの密林が形成されます。

熱帯雨林より降雨量は少なく、乾期と雨期がはっきり分かれている熱帯モンスーン地域には、熱帯落葉樹木の生態系があります。この植生は、乾期には葉が落ちる落葉樹が優占し、熱帯雨林に比べると樹種は少なく、またそれぞれの地域に特有の樹種があります。

降雨量がさらに少なく、年間降雨量が600mm以下で蒸散量が降雨量に勝る乾燥熱帯には、サバンナまたはステップと呼ばれる草原生態系があります。この草原には長い乾期があり、草や落葉かん木に覆われています。

3. 熱帯雨林生態系の役割

熱帯雨林は、地球にとってたいへん重要な三つの役割を果たしています。その一は、熱帯雨林が光合成によつて地球に供給する酸素量が地球全体の50%を超え、アマゾンの熱帯雨林だけでも30%に相当していることです。その二は、水源涵養林として熱帯雨林に降り注ぐ雨の50~70%を受け止め、森に吸収していることです。その三は、熱帯雨林は生物資源の宝庫で、少なくとも地球上の約半分の生物が、地球のわずか6%に過ぎない熱帯雨林に生息していると推定されていることです。

したがって、熱帯圏の農業開発に当たっては、熱帯雨林、熱帯落葉樹、熱帯サバンナ、ステップ、および砂漠生態系、それぞれの生態系の水のバランスを考え、自然環境の生態系を保全しながら、秩序と調和のとれた農業開発を進めなければなりません。

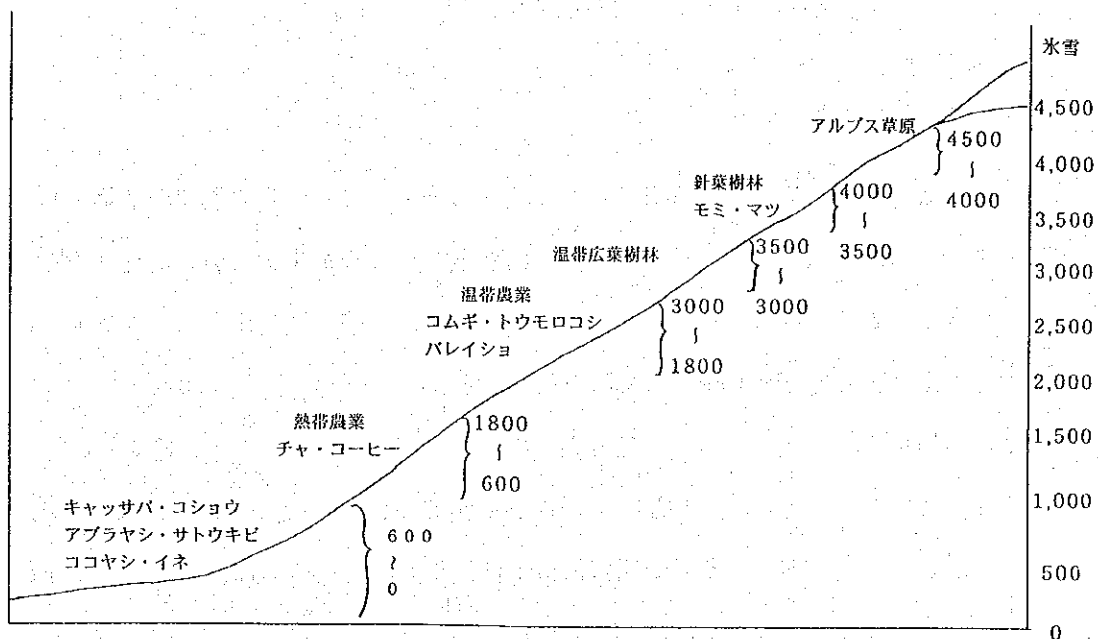


図4 標高差による熱帯圏の植物生態系の変化

4. 熱帯地域の高原地帯の植物生態系

熱帯でも標高2,000m以上の高原地帯は温帯の植生となります。樹木もマツやスギが生育し、恰も温帯地域にいるかのような錯覚に陥ります。これは、標高が高くなると気温が低下するからです。標高2,000mの高原では、気温が平地より12℃も低いのです。

南アメリカのアンデスやアフリカのキリマンジャロのような標高4,000mの上山頂地帯は雪で覆われ、寒地の植生、アルプス草原生態系なのです。標高3,500～4,000mでは、マツ・モミジなどの針葉樹林生態系が、3,000～3,500mには、温帯落葉樹林の生態系が分布しています。

さらに、標高が下がり1,800～3,000m地帯は、温帯植生の生態系となり、コムギ・バレイショを始め多くの寒冷温帯作物が栽培されます。標高が600～1,800m地帯は、温暖な温帯植生で、チャ・コーヒーの生産が盛んです。この地帯は、温帯と熱帯作物と一緒に栽培されています。

標高300～600mの地帯は、熱帯地域の生態系ですが、温帯作物の栽培も可能です。しかも、周年栽培できる利点もあります。標高0～300m地帯は、キャッサバ・コショウ・油ヤシ・ココヤシ・サトウキビ・イネなど、熱帯作物が栽培されています。

5. 熱帯の生態系と生産力

植物の光合成を通じて生産される有機物を生産する能力には、一定の期間の植物の総光合成量で示される総一次生産力と、その期間に消費される呼吸量を差し引いた純一次生産力とがあります。人間が収穫し利用できる植物の生産力は、純一次生産力になります。純一次生産力は総一次生産力の約60～70%に当たります。

熱帯地域の植生で純一次生産力に、最も影響の大きい要因は降雨量です。降雨量の増加に伴って純一次生産力は増加し、年間降雨量が500mmまでは、ほぼ直線的な比例関係を示します。しかし、より降雨量が多い湿潤気候帯では、年間降雨量の季節的な変化や土壌の肥沃度、生態系の遷移状態によって影響されます。

熱帯地域の植物生態系と純一次生産力との関係をまとめてみますと、熱帯雨林が20～30t/ha/年に対し、熱帯落葉樹林は10～20t/ha/年、サバンナは5～10t/ha/年、砂漠は0.1～5t/ha/年とたいへん低くなります。

6. 熱帯地域の気候帯と作物

熱帯地域の気候帯とくに降雨環境とそれに適応する作物との関係を類型化してみましょう。

(1) 湿潤熱帯気候の作物

(a) 年間降雨量が2,000mm以上で、どの月も100mm以上の降雨があり、乾期のない気候帯

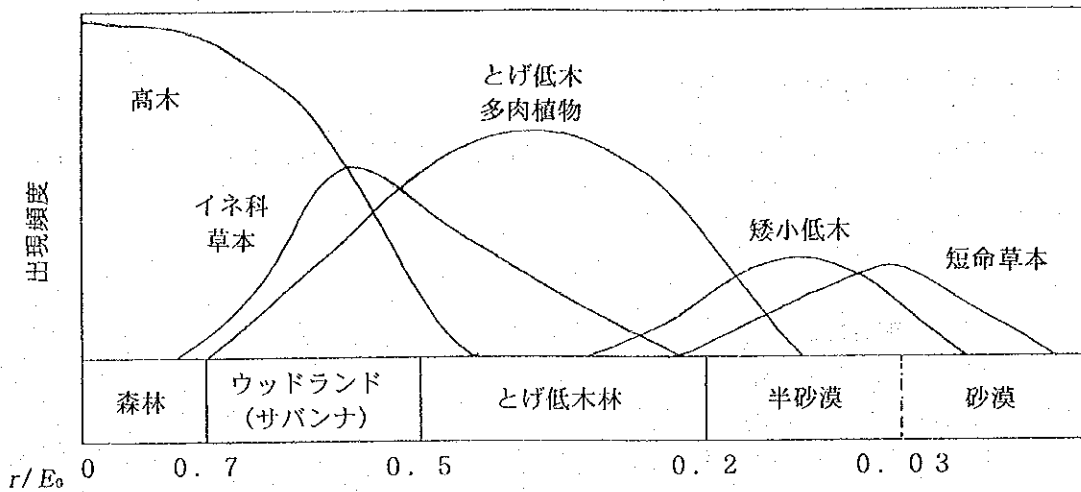
この地帯の農業では水不足はありませんが、豪雨のため洪水や土壌の侵食、塩基の溶脱が起きやすい特徴があります。土壌はオキシソルやアルディソルで強い酸性を示します。ゴム、油ヤシ、バナナ、コーヒーなどの多年性作物がよく適応しています。ココナツやココアも栽培され、ヤムイモ、タロイモ、キャッサバ、トウモロコシも栽培されます。

(b) 明確な乾期はないが年間降雨量が2,000mm以下で、月間降雨量が100mm以下の乾燥期が数か月ある気候帯

土壌はアルティソルやアルフィソルで、酸性を示します。(a)と同じ作物が栽培されています。イネが重要な作物でイネは二期作も行われます。トウモロコシ、ヤムイモ、サトウキビ、ココア、ココヤシ、ニクズクが栽培されています。

(2) 多雨と乾燥の熱帯気候の作物

この地帯は農業上たいへん主要な地域で、降雨の特性は多様です。この地帯の気候は、湿潤熱帯から乾燥熱帯への遷移のさまざまな段階があり、自然植生は落葉樹林、疎林、トゲ植物疎林などと、湿潤熱帯に近い半常緑森林から乾燥熱帯植生へと移行します。



注：rは年間降水量(mm)、E₀は年間蒸散能(mm)を示す。

図5 熱帯・亜熱帯における植物の生活形と気候乾燥度 (e/E₀) (吉良 1976)

(a) 年間降雨量は1,000~2,000mmで雨期が2回あり、雨量が50mm以下の短い2~3か月の乾期がある気候帯

土壌はアルフィソルが多く、弱酸性を示します。コーヒー、チャ、バナナが栽培され、トウモロコシやマメ類、ヤムイモ、キャッサバなどの一年生の食用作物とワタの二毛作が行われています。東南アジアでは、雨期にはイネを作り、乾期にはマメ類などの畑作物を栽培します。水が十分あればイネの二期作も行われています。

(b) 年間降雨量は650~1,500mmで、短い雨期が2回あり、その間に短い乾期と明瞭な乾期(月間降雨量が25mm以下で2~3か月)がある気候帯

土壌はアルフィソルやバーディソルなどで、弱酸性から弱アルカリ性を示します。降雨が不十分で、サイザル、カシューナッツのように干ばつに強い多年性作物が栽培されています。高原で水分の保全が十分あるところでは、作物の生育がよく高収量が得られます。一年生作物は、降雨量によって決まりますが、トウモロコシ、ソルガム、シコクビエ、サツマイモ、キャッサバ、ラッカセイ、マメ類などです。

(c) 年間降雨量が650~1,500mmで、3~5か月の長い雨期と長い乾期のある気候帯

土壌はアルティソル、ヒストソルなどで酸性を示します。耐旱性の強い作物以

外は生育が困難です。しかし、降雨量が1,300mmあれば、チャ、コーヒーのような多年性作物が栽培できます。一年生作物は、東南アジアではイネが主体です。アフリカでは河川沿いの流域で氾濫跡にソルガム、トウモロコシ、ササゲなどが作られます。

(d) 年間降雨量が1,500mm以上で、強い豪雨を伴う雨期と長い乾期をもつ気候帯

土壌はアルティソルやアルフィソルなどで弱酸性から強酸性を示します。東南アジアのモンスーン地帯がこの典型です。ここでは、イネの栽培がモンスーンの進行に合わせて行われます。乾期には灌漑施設のある地方ではイネの二期作を行います。一般にはダイズやラッカセイなどのマメ類が作られます。

(e) 年間降雨量が250～650mmで、3～4か月の短い雨期も月間降雨量50mm以上と長い乾期のある気候帯

土壌はアリディソルで中性からアルカリ性を示します。多年性作物は困難ですが、短期の干ばつに強い一年生作物ソルガム、シコクビエ、サツマイモ、ラッカセイ、ゴマなどが栽培されます。

(3) 乾燥気候帯の作物

年間降雨量が250mm以下で、一年中ほとんど雨が降らない気候帯

土壌はアリディソルで中性からアルカリ性を示します。灌漑が行われない限り農業は行われません。しかし、水が供給できれば開発の余地の大きいところです。

3 環境に優しい農業の実践技術の創造と開発

いま、農業分野での青年海外協力隊員に望まれていることは、要請書の内容からもわかりますように、自然環境に優しい環境保全型農業をめざしたものが大半を占めるようになってきています。具体的には、農薬を使わない野菜作りの方法とか、堆肥やボカシ肥の作り方など有機農業をめざした、これからの技術に関心が集まっているのです。

したがって、従来の化学薬品や化学肥料を使ったモノカルチャーの大規模経営の農業から、自然農薬や有機肥料を使ったマルチカルチャーの小規模経営をめざす農業に変わって

きています。

確かに、効率化で代表される20世紀のモダニズムは、農業の開発に当たって食糧の生産性の向上に大きな役割を果たしてきました。化学肥料の施用によって、単位面積当たり収量が向上したことは事実です。病害虫の防除については、農薬の開発に負うところが甚大です。たいへんな重労働であった除草作業が、除草剤の開発によって取り除かれたことも事実です。

しかし、この20世紀の余りに急激な農業の発展は、自然環境に少なからざるインパクトを与えたことも事実です。この20世紀のモダニズムがもたらした自然環境へのインパクトの中で、農業環境への課題は三つあります。

まず第一は、持続可能な農業、Sustainable agricultureについてです。子子孫孫に至るまで農業が続けられるように、短期的な多収を求めての化学肥料の多投や、環境ホルモンレベルでの残留性を考えた農薬や除草剤の使用による農耕地の荒廃は避けなければなりません。

つぎに第二は、地球上の全ての生物は共に生きる権利のあること、つまり生物多様性、Biodiversityの問題なのです。佐渡のトキが絶滅したり、レタスやキャベツを連作するために土壌殺菌剤を多投することは避けなければいけません。地球上のすべての生物が生きていける農業をめざすのです。ハーブ混作や作物の輪作などのマルチカルチャーや自然環境に優しい自然農業を利用し、総合的な生物多様性を管理し、すべての生物と共生していくことです。

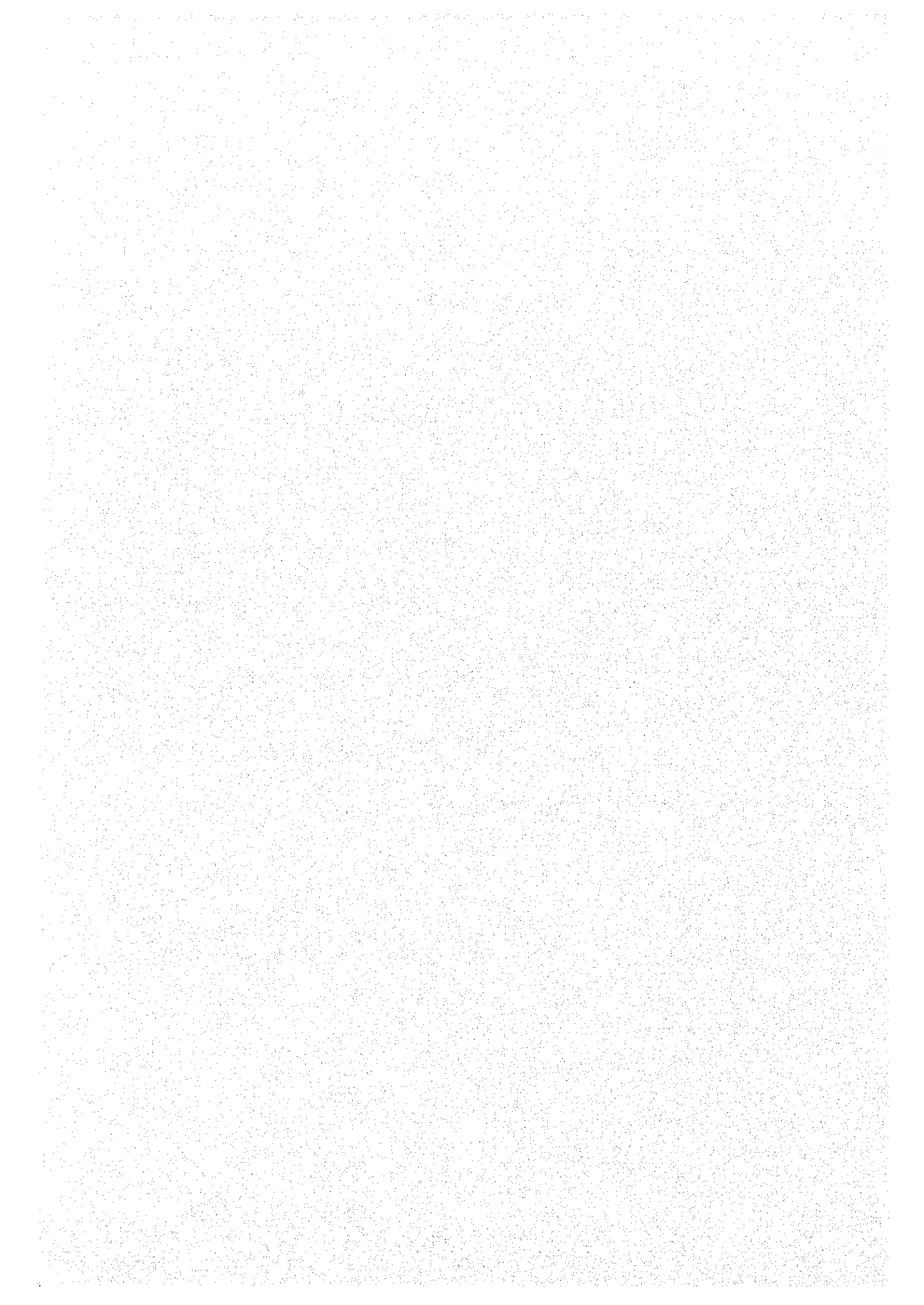
最後に第三は、産業廃棄物を可能な限り少なくして、物質の循環、Recyclingを考えることです。家畜の糞尿は良質の堆肥にして耕地に返し、循環させていくべきです。たとえば、日本で飼育している家畜の糞尿を堆肥にして、農耕地に還元すれば、化学肥料をほとんど施用しなくても、十分農作物の栽培が可能であるといわれています。

換言すれば、化学肥料の施用によって、家畜の糞尿が河川や海を汚染していることになります。物質を循環させる農業、Recycling agricultureが環境保全型の農業なのです。

これから始まる21世紀の農業は、この反省に基づいて自然環境に優しい農業と安全な食料の生産性の向上をめざし、その実践技術の創造と開発に努めなければなりません。

熱帯地域で農業開発の現地で活動する農業分野の青年海外協力隊員は、これから始まる21世紀に向けて、地球の環境に優しい農業開発の先頭に立ち、現地でその実践をめざすべきです。

第1章 栽培の基本

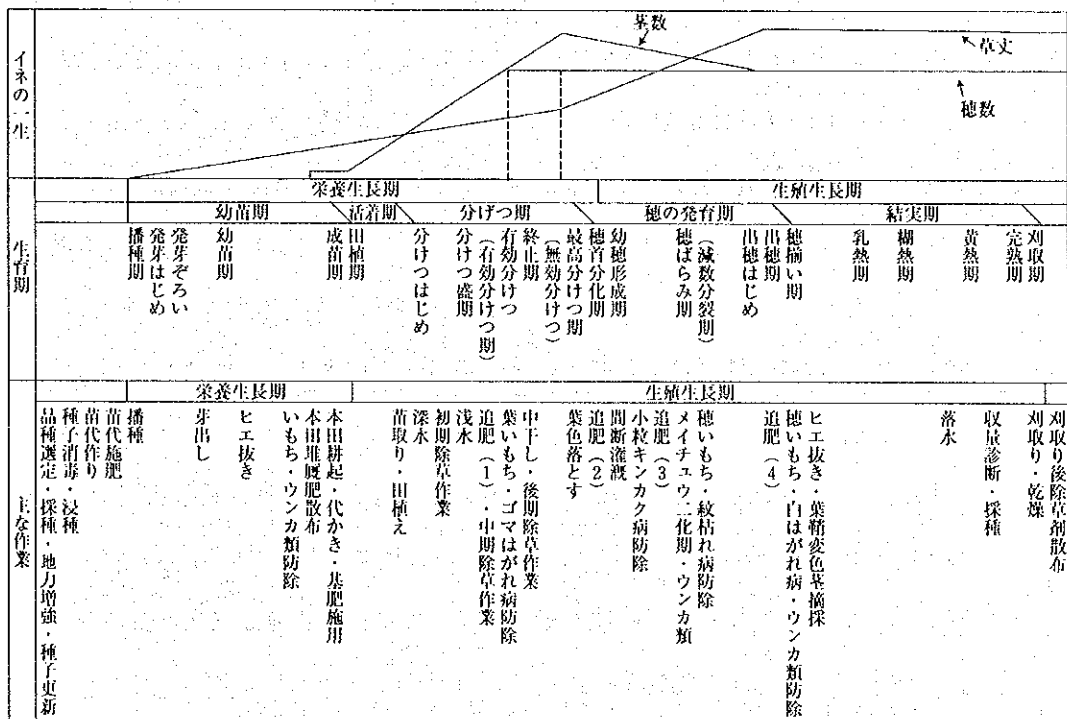


1-1 イネ

熱帯では主にインド稲が栽培されています。インド稲は、一般に日本稲に比べて分けつの発生が少なく、脱粒しやすい長粒品種です。また、種子の休眠期間が長く、つねに発芽可能な温度にある熱帯の気候に適応しています。したがって、インド稲は、日本稲とたいへん異なる特性が多く、気象や土壌の環境も異なるので熱帯でイネを栽培するには、日本の稲栽培の概念を取り払って考えたほうが良いかもしれません。また、その地域に適応した品種の選抜に当たっては、早晚性、草型、倒伏抵抗性、耐暑性、耐病性、耐虫性など多収性や品質に優先して留意しなければなりません。たとえば、痩せ地や少肥栽培では穂重型を、肥えた土地や多肥栽培では穂数型を選択しなければなりません。

ここでは、播種から収穫までの一連の作業、熱帯に特有の生理障害とその対策、生育診断から収量調査の方法について解説します。

1-1-1 イネの一生



1-1-2 栽培管理

(1) 栽培方法

(a) 天水稲と灌漑稲

熱帯地域の稲作は、ほとんどが天水田です。日本の稲作は、その99%が灌漑されていますが、東南アジアでは61.3%、南アジアは19.9%、中南米は31.9%、アフリカでは22.3%しかありません。したがって、熱帯地域では、水の供給が稲の栽培時期を左右する要因になっています。

ここでは、インド亜大陸の東南部ベンガル地方、アッサム地方、バングラデッシュで行われている降雨量と密接に関係した稲の作期について紹介します。

Aus（秋稲）は、この地域の乾燥地帯で水を利用できる雨期に栽培されます。Aus群の品種は非感光性品種で3月から9月に比較的短い生育期間（90～110日）をもち、天水条件下のモンスーン開始時期に移植あるいは直播されます。低温には比較的弱く、高温低日照病害虫の多発により収量は低下します。

つぎに、Aman（冬稲）は、本格的な雨期に栽培され、水が豊富な低湿地に作付けされます。

Aman群の品種は2つに分別されます。散播（深水）Amanは、モンスーンの開始時期の3、4月に単独あるいはAusと一緒に散播され、5月のBoro（夏稲）を収穫した後に移植する方法です。早生のAusは6月には収穫されますが、節間伸長性の特徴をもつ散播（深水）Amanは6～9月のモンスーンによる深水（0.5～4m）条件下で生育し、11、12月に収穫されます。水位の上昇に伴って3～5mの草丈になる感光性品種で種子は休眠性を持っています。一般に収量の低い品種です。

また、移植Amanは、水深が0.5mを超えない地帯で7月に播種され、生育期間は135～150日と長く、モンスーンの終わる10月中旬から12月中旬に収穫されます。種子休眠性は高く、耐冷性があります。主に在来品種は感光性であり、近代品種は非あるいは弱感光性です。

感光性品種は、灌漑水が不足し晩植しなければならないときに利用されます。

さらに、Boro（夏稲）は冬の乾期の稲作で、灌漑を必要とします。10月から12月に苗作りを行い、12～2月に移植され、4下旬～6月に収穫されます。冬期は

乾期で日照が豊富で病害虫も比較的少ないので、水の供給があれば、他の作期より収量が高くなります。

また、Boro品種は、耐旱性で低温耐性があり、非感光性で種子の休眠の弱い品種です。

(b) 移植栽培と直播栽培

移植栽培は、あらかじめ苗代で育苗し、苗を本田に移植して栽培する方法です。日本で苗を作る目的のひとつは、保温と本田での作付け期間を短縮することです。しかし、熱帯では水を節約し、出芽の安定と苗代期の雑草の害を避けることがその目的です。

一方、直播栽培は直接水田に種子を播くため、育苗に関わる作業が省略され省力・低コスト栽培を可能にします。直播栽培は、さらに水管理の方法によって湛水直播と乾田直播きに分けられます。熱帯において前者は、河川の流域やマングローブ林の低湿地帯で播種時に十分な水が確保できる地域で行われます。後者はとくに、2期作を行う場合の1期作の時、雨期の始まる直前に乾燥種子をそのまま本田に播種します。

とくに、直播栽培では田面をできるだけ均平にして、排水時や降雨時に水たまりができないようにしなければなりません。雨期の最初の雨を利用して耕耘作業を行います。田の周辺や田面に排水路を作り、酸素要求量の高いインド稲の種子が排水不良によって発芽が阻害され、腐敗するのを防ぎます。

また、代かきの際の土壌の堅さは種子が土壌に沈下せず、硬すぎて地表面に浮いて雨に流されないように羊糞ぐらいの堅さにします。

種子の催芽の程度が浅いと、発芽が終わるまでに日数がかかり過ぎ、その間に強烈な日射、激しい雨、そして鳥害にさらされるので、芽が5～10mmに催芽された種子を播くこともあります。

(c) 畑作物の間、混作

稲を収穫した後の土壌水分を利用して、乾期に畑作物を栽培します。また、陸稲に畑作物を間・混作することによって、旱魃や湿害の危険を分散することができます。また、害虫の被害を軽減する効果も期待されます。栽培する畑作物の種

類は、その地域の市場性を考慮する必要がありますが、地力を高めるためには窒素固定能力の高い豆類、また、耐暑性の強いトウモロコシ、ソルガムなどC4植物が栽培されます。

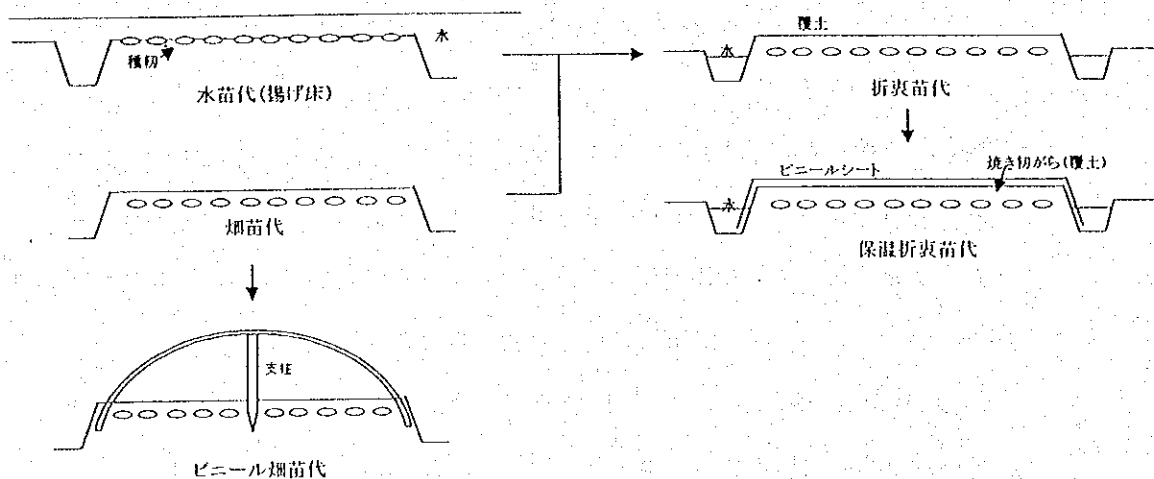
(2) 育苗

(a) 苗床作り

イネの好適pHは5～6.5ですが、苗代期には本田期より酸性を好みます。健苗を育てるためには、pH5くらいに調整できると良いでしょう。

苗代には、水苗代と畑苗代、それらの長所を生かした折衷苗代があります。折衷苗代は、初期に水苗代で育て、後期は溝だけに灌水するものです。さらに、初期にビニールシートで覆い保温する保温折衷苗代もあります。

覆土として籾殻くん炭を使うと、保水性や通気性を高めます。また、くん炭は太陽熱を吸収するので、保温の効果もあります。

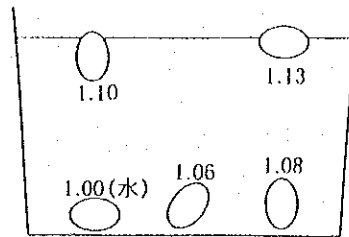


(b) 苗作り

インド稲の種子は日本稲に比べ、休眠期間が長いため、収穫後できるだけ早く2期作を行うためには、種子の休眠が自然に破られるのを待っているわけにはいきません。したがって、試験場などでは乾燥種子を55℃で3日間の熱処理します。一般の農家では、良く晴れた日に種子の天日干しを数日行います。

また、健苗をつくるためには充実した種子を選ぶことです。一般には、水に浸して浮く種子を除く水選が行われています。しかし、良い種子を選ぶには塩水選

が望まれます。比重1.13の塩水に沈む種子を選びます。比重計の無いときは生卵で塩水の比重を推定します。



生卵による塩水の比重の調整

種子の催芽は、日本では幼芽が1～2mm程度抽出した状態（ハト胸状態）のことを指します。熱帯では、幼芽と幼根を10mm程度伸ばして播種します。

さらに、熱帯では日本の水苗代のように灌水せず、水分を飽和させ、羊羹状態にした苗代で育苗します。これは、インド稲が日本稲に比べて発芽時の種子の酸素要求量が高いため、より早く出芽させるための技術といえます。また、畑苗は水苗に比べ、草丈が低く、よく分岐した根を持ち、苗体内の窒素とデンプンの含量が高くなるのがわかっています。これは、畑苗が水分供給の制御を受けた結果です。ただし、畑苗代はねずみや鳥の食害を受けやすいので気を付けなければなりません。

苗の種類は、乳苗（1.4～2.5 齢）、稚苗（3.1～3.5 齢）、中苗（4.5～5 齢）、成苗（6～7 齢）に分けられます。手植えの場合は、深植えになりやすいので、中苗や成苗が使われます。

箱育苗で健苗をつくるための播種量は、育苗箱（60×30×3cm）当たり乾粕で下表のように行います。

苗の種類	稚 苗	中 苗
播種量	200～250g	80～150g

また、ずんぐり苗を作るには苗床を浅く耕起し、床土の下層土を堅くすると、根がよく分岐し、地上部の生長が抑えられます。なお、毎朝竹ぼうきや竹ざおでイネ苗の葉先を軽く30秒くらいなでるとずんぐり苗を作ることができます。

移植する時、草丈が30cmくらいに伸びた苗は、倒れないように先端から1/3くらいを手でねじって切って移植します。

(3) 圃場管理

(a) 耕起と代かき

耕起は、土壌を膨軟にし、雑草の発生を抑制します。熱帯では、多毛作で次作までの期間が短いため湛水したまま耕起されることもあります。

代かきは、漏水を防ぎ肥料散布のむらをなくす効果があります。雑草の発生を抑えるため、2～3週間おきに2・3回は雑草の発生を待って、代かきするところもあります。さらに、有機物の分解を早める効果もあります。また、土壌を均平化することによって、移植作業やその後の栽培管理を容易にします。とくに、直播栽培では、土壌の均平化によって播きむらを防ぎ出芽苗立ちを齊一にさせることができます。

しかし、過度の代かきは、種子が沈み播種深度を深くし、発芽を阻害する恐れがあります。また、不十分であると、播種深度が浅くなり、鳥害をうけやすくなるので注意しなければなりません。

(b) 施肥

施される肥料のうち実際に吸収される量は、化学肥料の場合、施肥量の窒素は50%、リン酸は20%、カリウムは40～50%です。堆肥の場合は緩効性であり、使用する有機質資材によって肥料成分が異なります。施肥設計はこれらのことを考慮して計画します。たとえば、窒素を基準に実際の吸収量を半分と考えたと、玄米収量100kg当たり、窒素2.5kg、リン酸1.0kg、カリウム2.3kgが必要となります。

収量を上げるためには、有効分げつ期とくにその前半、穂首分化期、減数分裂期直前と穂揃い期の4時期に肥料（とくに窒素）を効かせることが重要です。時期による収量構成要素への影響は次のように分けられます。分げつ初期は主として穂数を増やし、幼穂分化期と穎花分化中期の追肥は1穂の初数を増やします。また、減数分裂期直前の追肥になると、穎花の退化を減らして初数を増やすとともに、初穀を大きくして千粒重を大きくします。しかし、最高分げつ期近くの追肥は無効分げつを増やし、過繁茂によって登熟を低下させ、倒伏しやすくなるので気をつけなければなりません。

温帯に比べ高温多湿の熱帯では、有機物の分解が早く、また特有の豪雨によって硝化脱窒や土壌表面流去などによる養分の損失が大きいので、層状施肥や深層

施肥による施肥位置の改善、団子肥料の使用が有効で、追肥時期の回数なども十分検討することが必要です。

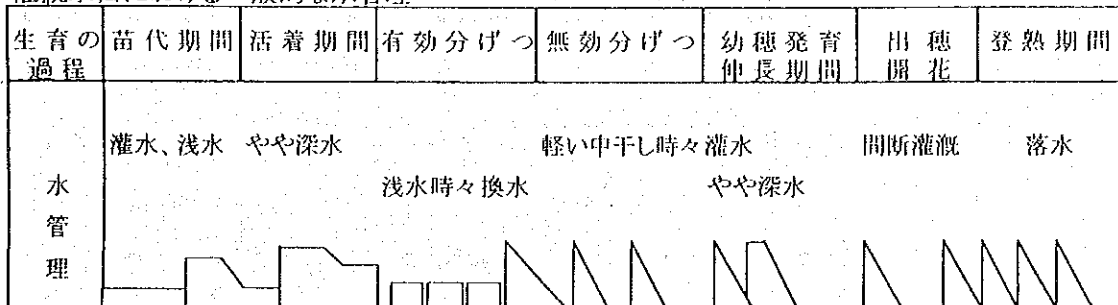
熱帯では、堆肥を連用することによって地力窒素量が増加し、稲が窒素を吸収しやすい土壌に改良されることが知られています。また、深耕し耕土層を厚くするとともに、下層に稲わらをすき込むと、肥料の施用が少なくて済みます。

熱帯のアルカリ土壌の水田では、窒素がアンモニアに変わり揮散します。したがって、移植前に長い間湛水すると窒素の損失量は増えます。熱帯では、乾期から雨期の初めにかけて生育した雑草、アゾラ、セスバニアなど緑肥作物や稲わらのすき込みによって、有機物を投入し肥沃度の増進を図ることでです。

(c) 水管理

稲作での水のかげひきは、稲への水の供給のほか根圏への酸素の供給や水田土壌中の有機物の分解で発生する有害物質を除去します。また、灌漑水中に含まれる養分の供給などの働きがあります。しかし、水のかげひきの管理作業は灌漑設備が完備された水田でしか適応しません。したがって、天水田の多い熱帯では、水はたいへん貴重で漏水を防いで水を保持することが重要となります。中干しは、栄養生長から生殖生長への転換に役立ち、倒伏を防ぎますが、降雨がないと出穂期に大切な水が不足する危険性があります。したがって、熱帯の天水田では、中干しを止めたほうが良いこともあります。

灌漑水田における一般的な水管理



(d) 除草

田植え後15～20日と20～30日の2回に分けて行うのが効果的です。除草の時は浅水にし、取った草は土の中に埋め込みます。陸稲や乾田直播きではとくに雑草が増えるので、出芽後15日と30日にも除草を行います。

(4) 生理障害

東南アジアの稲作地帯には、稲の生理病といわれる重鉛やカリウム欠乏症やアルミニウム・鉄などの過剰障害のほかにウイルス病による障害も発生しています。

ミャンマーで発生する Amyit-po もカリ欠乏が原因であり、移植後1カ月頃から葉が暗緑色になって生育不良を起こします。下葉が枯れやすくなり、分けつは正常であるものの不稔が多くなり減収します。

アフリカの内陸低湿地では、低養分土壌の他に、鉄、マンガン、アルミニウムの過剰症が特有のものとして生じます。サヘルは土壌問題に加えて、とくに乾期には大きな気温の日較差、低温と土埃を伴う強い風が障害を引き起こすために、雨期に収量の多いアジア稲も全く適応できなくなります。

海岸低湿地帯におけるマングローブ稲作は、酸性土壌、塩害、潮汐のほか、降雨、強風、日照不足によって鉄、アルミの過剰症などが生じます。

中南米では、セラード（ブラジル）、ジャノス（コロンビア）と呼ばれるサバンナ地帯において強酸性土壌による鉄、アルミニウムの過剰症をもたらします。

(a) 欠乏症状

窒素： 最も重要な養分であり、欠乏すると分けつが少なく草丈が低くなります。また、黄化は下位の葉から発生し、狭く短く直立し、黄緑色から淡いむぎわら色になって枯死します。

硫黄欠乏の症状と非常によく似ていますが、硫黄欠乏であれば硫安、硫加などSを含む肥料を与えると回復するので区別できます。

リン： リンは生育初期に必要性が高く、欠乏すると分けつが少なくなるだけでなく、出穂も遅れるので、基肥として十分に施用しなければなりません。また、熱帯に多く見られる湿潤地域のラテライトの強酸性土壌ではアルミニウムや鉄がリン酸を結合し、また乾燥地域のアルカリ性土壌では石灰とリン酸が結合し不可給態になってしまいます。

症状としては、草丈が低く分けつも少なくなります。葉色は汚い暗緑色になり、アントシアニンを生成する傾向の品種では、赤

あるいは紫色がかった色になります。古い葉から障害が発生し、赤紫褐色を示します。出穂後は止葉にも発症します。

カリウム： 珊瑚礁に由来する石灰質土壌の場合、土壌中にカリウムが少なく、加えて過剰の石灰のために石灰とカリウムの拮抗作用によって極端なカリウム欠乏が生じます。

草丈は低くなり、葉は短く垂れ下がり暗緑色になります。下位葉の葉脈間が先端から黄変し、しばしば乾いて淡褐色になりますが、場合によっては褐色斑が暗緑色の葉に現れることもあります。

カルシウム： 移植後1カ月半を過ぎてから、上位葉の頂端部が白くなって湾曲します。ちょうど線虫心枯れ病にかかったようです。ひどい場合は草丈が低くなって生長点が死んでしまいます。

マグネシウム： 葉身と葉鞘の間の角度が広がります。また、中・下位葉の葉脈間にクロロシスを生じ橙黄色になり、葉脈は緑色の縞模様になります。

鉄： 新葉がクロロシスになり、その後白化します。アルカリ土壌の場合に発生しやすいですが、湛水状態で鉄は可溶性になって欠乏症状の発生は少なくなります。乾燥地域や湿潤地域でも砂質土壌では畑苗代や陸稲、また乾田直播栽培稲では鉄不足による苗の黄化現象がみられます。

マンガン： 風化が進んだ土壌ではマンガンの溶脱が進み、また酸性土壌と鉄過剰によってマンガンの吸収が阻害されることがあります。

症状は、草丈が低くなり、葉脈間にクロロシス様のすじが先端から基部へと広がります。その後、暗褐色のネクロシス（褐色斑）になります。新葉は短く狭く淡い緑色となります。

亜鉛： アルカリ土壌、つねに湿潤で排水の不良な地域、有機物含量の高い水田、海岸の低地を新しく開墾した水田で貝殻などによるpHの上昇に伴って亜鉛欠乏がみられます。N、P、Kが十分あっても、排水不良で亜鉛が欠乏すると穂が小さくなります。石灰質の土壌では、湛水状態で亜鉛欠乏が発生やすくなります。

症状は、田植後の活着期にみられ、葉の表面、とくに若い葉

の中肋の基部にクロロシスが現れ、極端な場合には枯死します。大抵は、生長とともに回復しますが、生育不良や出穂不揃いがみられ減収します。

改善策としては排水して土壌を乾燥させます。または、田植え直前に苗を酸化亜鉛の2%懸濁液に浸漬するか、あるいは苗代に硫化亜鉛をhaあたり40～50kg施用します。

(b) 過剰症

鉄： 小さな褐色斑が下位葉の葉脈間に連続して現れ、先端から基部に向かって広がります。症状がひどくなると、全葉が紫褐色になります。

マンガン： 草丈が低く、分けつが減少します。とくに、下位葉の葉身と葉鞘の葉脈に褐色斑が現れます。

ほう素： 古い葉の先端、とくに葉縁に沿ってクロロシスが発生します。その後、暗褐色の大きい楕円形の斑点が現れて、最後には褐色に枯れ上がります。

アルミニウム： 葉脈間に橙黄色のクロロシスが生じます。さらに悪化するとネクロシスが現れます。

塩害： 生長が抑えられて分けつも減少します。葉の先端が白くなり、一部でクロロシスが生じます。

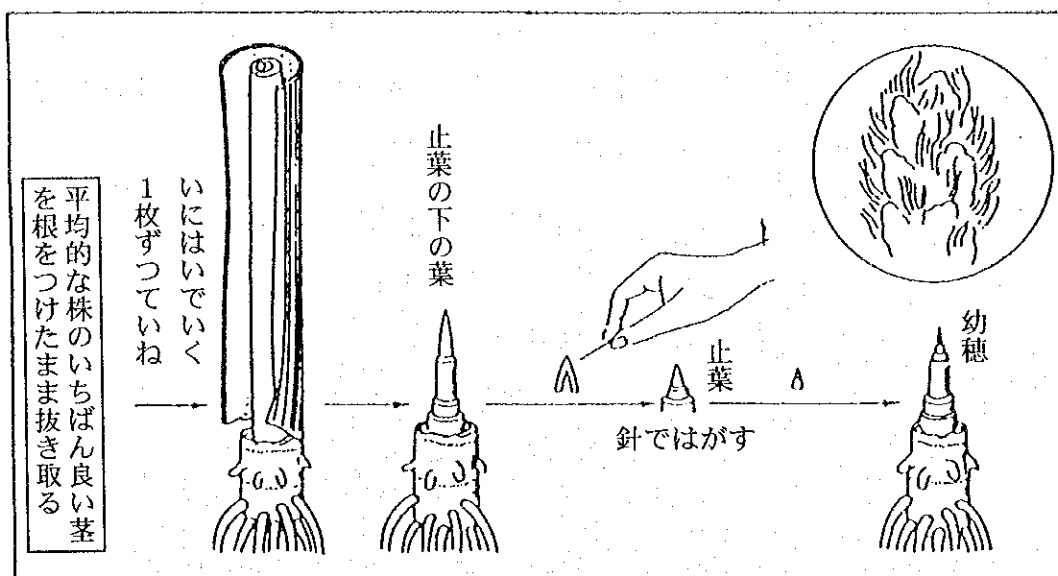
ヨウ素： 小さい褐色斑が下位葉の先端に現れます。次第に葉全体に広がり、黄褐色あるいは褐色になり、最後に枯死します。

(5) 収穫期と収量調査

(a) 出穂期の予測

イネの主茎につく葉の数を主桿葉数とよび、品種の早・晩生によって異なり、10～18枚の葉を持ちます。非感光性品種は、一般に葉数は一定ですから止葉を観測し、出穂期を予測します。感光性品種は栽培時期によって葉数が変化することを考えて出穂期を予測しなければなりません。

また、生殖成長期になると幼穂が形成されますが、幼穂の伸長程度から出穂期を判断することができます。



幼穂の観察のしかた

幼穂の発育段階に対する幼穂の長さとお穂前日数		
幼穂の発育段階	幼穂の長さ(mm)	出穂前日数(日)
幼穂分化期	—	32
1次枝こう分化期	—	
2次枝こう分化期	0.9	
穎花分化初期	1.0~1.5	25
穎花分化期	1.5~15	
減数分裂初期	40~60	15~13
減数分裂後期	100~200	10
花粉形成開始期	全長	

注) 星川清親「イネの生長」参照

(b) 収量構成要素と収量調査

収穫は籾の8割が黄色くなり、穂首の枝梗が黄化し始めた時に収穫します。

収量は単位面積当たりの穂数、一穂籾数、登熟歩合、千粒重によって決定されます。これらを収量構成要素と呼びます。ここでは、まず収量調査の方法について説明します。

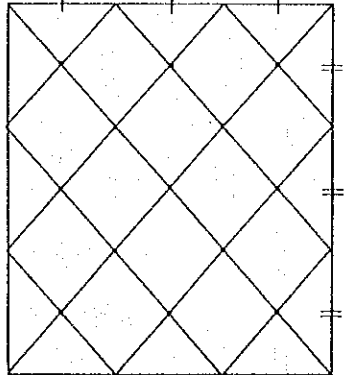
坪刈りによる圃場収量の調査：1~3m²の面積を1区3か所以上、1株ごとに刈り取ります。刈り取った株は穂数ごとに分けて株数を数え、1株平均穂数を求めます。この中から平均穂数に近い代表株5株を選定し収量調査に用います。

5斜線刈り取り法による代表株の選定：坪刈り法では1定の面積収量から全体の収量を求めるので、小ブロックやばらつきの多い区では正確な収量を推定できません。そこで、図のように斜線上にある株を1株ずつ刈り取って、穂数を調査し

平均穂数の株を選定します。

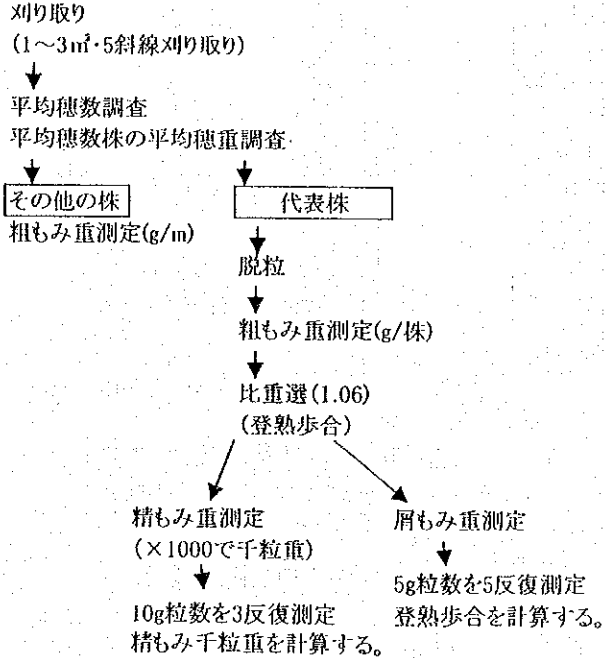
どちらかの方法で選定した代表株を用いて、下図のフローチャートに従って収量調査をします。ただし、インド稲はもみの比重が日本稲に比べて小さいので、精もみと屑もみの分別は水選によって行います。

5斜線刈り取り法



斜線の交差した点のイネを収穫します。

収量調査のためのフローチャート



診断結果に対する改善のねらい

I. 登熟歩合85%以上の場合

- ▶ 籾数の増加
 - ▶ 穂数の増加
 - 健苗の育成
 - 早植えの励行
 - 適正な基肥
 - 浅植え
 - 植え痛みの防止
 - 肥培管理の改善
 - 栽植密度の検討
 - 弱小分けつの抑制
 - ▶ 穂穎花数の増加
 - ▶ 過剰穂数の抑制
 - ▶ 穂首分化期までの強大な分けつ確保
 - ▶ 籾の分化を促進
 - ▶ 籾の退化防止

II. 登熟歩合75%以下の場合

- ▶ 登熟歩合を高める
 - ▶ 早植えの励行
 - ▶ 幼穂分化期から穂揃い期までの環境の改善
 - ▶ 過剰の籾数の抑制
 - ▶ 強健な草型での出穂期
 - ▶ 穂揃い期の追肥
 - ▶ 出穂後の病害虫の防除
 - ▶ 暴風害対策
 - ▶ 倒伏の防止
 - ▶ 秋冷前までの登熟の完了
 - ▶ 登熟の良い品種の選抜
 - ▶ イネの姿勢を正す
 - ▶ 根の活力増進
- ▶ 千粒重の増大
 - ▶ 籾殻を大きくする
 - ▶ 籾殻内部に充実米を肥大させる。

注) 松島省三著「稲作診断と増収技術」から引用した。

1—2 野菜

途上国の多くが集中している熱帯地域では、輸出作物の生産を中心としたプランテーション型の農業開発が主流となり、地域住民は慢性的な食糧不足の状態にあります。また、健康を維持するために不可欠なミネラル、ビタミン類、および食物繊維の欠乏は、貧血症や視力障害を引き起こし深刻な問題となっています。このような状況のなかミネラル、ビタミン類を豊富に含む野菜の生産向上は、地域住民の栄養不良の改善に大きな役割を果たします。

健全な野菜を栽培するには、ほかの作物と同様、光・温度・水・土壌・栄養素などの諸条件の調節が必要です。つまり、栽培する野菜の生育に適した環境を出来るだけ準備することが野菜づくりのポイントといえます。したがって、熱帯地域における野菜栽培では、まず、熱帯特有の気候および土壌条件を十分理解し、そのうえで品種の選択、栽培管理を行う必要があります。

1—2—1 気候条件

熱帯地域は、赤道付近（南北緯20度）の南北からの貿易風の影響を受け気圧の低く、降水量の多い高温多湿地域、北緯20～40度および南緯20～40度の気圧が高く、降雨量の少ない熱帯乾燥地域があります。いずれも強い日射と高い気温、豪雨や激しい乾燥と温帯に比べ厳しい環境条件にあるといえます。

1) 日照

熱帯地域の日射は、13万Luxと非常に強いため、光合成の飽和光度である約4.5万Luxまで遮光する必要があります。強日射下にある熱帯の野菜は、温帯の野菜にくらべて葉色は濃く、葉の形状は、厚みがあり面積の狭い傾向にあります。通常、植物の生長量は、光合成能によって決まりますが、日射の強い乾燥熱帯では、光飽和点の高いC4型やCAM植物の栽培が適しています。

また、熱帯の日長時間は、12時間前後で季節的な変化がないため周年変化が少ないことが特徴です。そのため、熱帯では、30分程度の日長時間の変化に敏感に反応する光周特性を示す感光性の植物もみられます。このように昼夜の長さが植物の生育に影響

響を及ぼす現象は、光周性と呼ばれますが、この光周性は、植物の生育過程における開花、結実などに関係します。とくに、花芽形成においては、日が短くならないと花芽を形成しないものを短日植物、反対に日が長くならないと花芽を形成しないものを長日植物といい、また、日長に関係なく花芽を形成する植物を中性植物と呼びます。このような植物の光周特性から、日長時間に周年変化の少ない熱帯地域での野菜の栽培は、播種時期に十分留意する必要があります。

2) 気 温

熱帯地域の気温は、年平均25℃以上で年間気温の変動が少なく、その変動は5℃以内といわれています。また、1日の気温の変動については大きい所も多く、日中、太陽が真上に位置する時間帯がもっとも気温の上昇がみられます。

気温も日長と同様に植物の生育に大きな影響を及ぼします。高温条件下では、葉色は薄く、葉の形状は、厚みがなく面積は大きく上向きになる傾向にあります。また、一般に野菜の生育は、35℃以上で同化作用が低下し、呼吸が盛んになり生育が不良になります。各品種により生育の最適温度、最高温度は異なりますが、年間を通じて高温である熱帯地域では、最高温度の高い耐暑性品種の選抜が重要です。とくに、果菜類のような結実を要するものでは、高温条件で開花結実の停止する品種があるため注意する必要があります。耐暑性品種としては、熱帯地域で従来栽培されている在来種の利用が有効です。

一方、気温は標高が100m高くなるとごとに0.6℃低下するため、熱帯においても標高1000mを越える高原には、比較的冷涼な地域がみられます。このような高原地域は、日中は高温になりますが夜温が低く、昼夜の温度差が大きいことが特徴です。このような高原地域では、温帯野菜の栽培が可能だけでなく、温帯にくらべて色彩が鮮やかで生育も良好な野菜が多くみられます。そのため、熱帯の高原地域は、平坦な土地と水の供給が可能であれば、温帯野菜の周年栽培ができる地球上でも良い環境といえます。

3) 降 雨

熱帯地域の降雨は、雨滴が強く、降水量の多い豪雨（スコール）であるため、土壌の浸食が問題となります。スコールの衝撃は、土壌の剥離と土壌表面の流失を招き、

土壤浸食を増大させます。このような土壤浸食を防止するためには、土壤を被覆するカバークロープ、敷き藁や枯れ草などのマルチにより土壤表面の露出を防ぐのが有効です。また、堆肥など有機物の施用により、土壤の団粒化を図り、雨水が地中に滲透するように透水性を高める土壤改良も必要です。

さらに、傾斜地では、等高線に沿って作付け、土壤浸食の進行しやすい傾斜地での土壤流失を抑えます。とくに、果樹などの永年性の樹木作物の栽培には等高線に沿って作物を植え付け、その畝にカバークロープを密植し、土壤浸食を防ぐ方法があります。

また、降雨量の少ない熱帯乾燥地域では、水の有効利用が重要です。作物によって水の利用効率は異なりますが、ミレット、ソルガム、トウモロコシなどのC4、およびパイナップルなどのCAM植物のように水利用効率の高い作物の栽培が有効です。C3植物が乾物1gを生産するのに300～800mlの水を要するのに対し、C4植物では150～350ml、CAM植物では50～200mlの水で乾物1gの生産が可能なのです。

1—2—2 土壤条件

土壤は、母材である岩石（母岩）が気温、降雨、植物の根などより、砕かれて細かい粒子へと変化する物理的な風化を受けて形成されます。そのため、気候条件が土壤の性質に及ぼす影響は大きいといえます。とくに、熱帯地域は、その気候条件により風化が進み、養分の溶脱が著しい土壤が多くみられます。土壤の風化は、気温が10℃上昇すると2～3倍の速さで変化するといわれており、熱帯では温帯とくらべ、母岩の風化や有機物の分解は10倍以上の速度で進行するといわれています。このように熱帯地域の土壤は、風化が進み、有機物の含有量の低く孔隙が少なく緻密なうえ、養分が乏しく肥沃度が低いのです。

熱帯湿潤地域では、強酸性（pH4以下）の土壤が多くみられます。酸性土壤では、土壤中の水素イオンや有毒なアルミニウムイオンの濃度が高く、植物の生育を阻害する恐れがあります。さらに、土壤の酸性化が進行すると土壤中のリン酸が鉄やアルミニウムと結合し、リン酸の難溶化が起こり、植物へのリン酸の供給が阻害されます。このような強酸性の土壤では、堆肥などの有機物と共に石灰・石膏の施用を行い土壤を中和することが重要です。

また、熱帯乾燥地域では、水分の蒸発が激しく土壤表面に塩類の集積が起こり、土壤の

アルカリ化が進行します。土壌の塩類濃度を調べるには、土壌の電気伝導度（EC）を測定する方法が一般に行われています。塩類濃度に対する抵抗性は、植物によって異なります。通常、作物の生育は、ECが2mS/cm以下であれば正常に生育するといわれています。4mS/cm以上では、多くの作物に塩類障害が起こる恐れがあるため、耐塩性のある作物や品種の選択も重要です。また、このように塩類集積のみられるアルカリ土壌では、塩類除去を行う必要があります。塩類除去として、作土の塩類濃度を低下させる耕耘、つまり、塩類が集積している作土と下層土を逆転させる天地返しや深耕のほか、イネ科牧草の栽培により塩類を吸収させるクリーニングクロップを栽培する方法があります。さらに、栽培期間中の灌水による塩類集積を防ぐため、点滴灌漑や畝間灌漑などを行う必要があります。

以上のように、熱帯の土壌は、有機物の含有量が少ないうえ、強酸性、塩類集積のみられるアルカリ性土壌など作物栽培には、厳しい条件といえます。そのため、有機物の施用を中心とした土壌改良が必要です。有機物の施用は、土壌中の有機物含有量を増大させ、養分の供給をするだけでなく、土壌団粒化の促進、緩衝能の増加（土壌中和）など土壌物理性、化学性の改善と土壌肥沃度の向上に重要な役割を果たします。

1—2—3 育苗

野菜づくりは、「苗半作」といわれるように播種後から幼苗期の生育がその後の収量にも大きな影響を及ぼします。とくに、気候、土壌などの環境条件が作物栽培にとって、厳しい条件といえる熱帯地域では、健苗育成が収量の向上に不可欠といえます。

1) 床土づくり

育苗に用いる床土づくりですが、床土は、つぎのような条件を備えているものがよいといえます。

- (1) 病害虫の発生の恐れがない
- (2) 通気性、排水性、保水性がよい
- (3) 有機物を含み、肥料成分が適度に供給できる

床土は、土と有機物を積み重ねて、定期的に切り返しを行い、十分に土と有機物が混ざるように半年程度の堆積を行う慣行床土が一般的です。しかし、時には使用直前に土と有機物を混合する速成床土も用います。

慣行床土は、土と堆肥など有機物をそれぞれ厚さ約30cmに交互に積み重ね、その上に石灰を加えて堆積します。堆積期間中は、2～3回の切り返しを行い3～6カ月程度経過した後、土と有機物がよく混ざった状態になったものを床土として用います。

速成床土は、慣行床土のように床土の作成に十分な期間がとれない場合に用いられます。そのため、未熟の有機物ではなく、完熟した堆肥やボカシ肥を土と混ぜ床土として用います。ボカシ肥の場合、ボカシ肥：土が1：3程度になるよう混合し、水分が約40%となるよう水を加え湿らせ過ぎないように注意します。2～3日、適度に切り返しを行い堆積し床土としてそのまま利用します。

堆肥など比較的肥料成分の低い資材の場合は、土と1：1の割合で混合し、10kgあたり窒素0.2kg、リン酸0.1～1.0kg、カリウム0.1kg程度の肥料成分を加えます。このときの肥料もボカシ肥などの有機質肥料を用いることが望ましいといえます。また、これらの床土には、くん炭など土壌の通気性、保水性の向上など土壌改良効果の高い有機質資材を利用するなどの工夫も必要です。

2) 播種、ポット苗

熱帯では、年間を通じて高温で気候の季節的変化は小さいですが、それぞれの作物や品種に適した播種時期を考える必要があります。種まきは、播かれた種子が一斉に発芽するよう管理することがポイントです。まず、品種は、現地の環境条件に適した耐暑性で耐病性の品種を選択し、できるだけ充実した種子を選びます。

また、熱帯では気候や圃場の土壌環境が厳しいことから、移植後の植え痛みを最小限にするため、根の切断の少なく、肥料成分や有機物の豊富な床土を根につけたまま移植できる土付き苗を用います。そのため、移植の際、根の切断や土が落ちやすい平床育苗より、セル苗やポット苗のような土付き苗がよいでしょう。セルやポットの入手が困難な場合は、バナナの葉や木の葉をポットとして用いる工夫が必要です。

セルやポット苗は、根がポットの外側に巻いてしまわないように、育苗期間に作物の生育に合わせてポットサイズを徐々に大きくしていくことが大切です。根がポットの外側を巻いてしまうと外気の高温に直接さらされ、高温障害を起こす危険があります。また、夜温が高いと苗の徒長を招くので、ポットは地温の影響を避け直接地面に置かず、地面から30cm以上離して棚を作り通気性を確保した環境を作ることも必要です。

3) 灌水、遮光

高温による乾燥が厳しい熱帯地域での水管理は、健苗育成に重要な役割を果たします。灌水は、朝早く気温の上昇が起こる前に行うことが重要です。昼中の灌水は、葉焼けや過度な蒸散を促し、夕方の灌水は、苗の徒長を引き起こします。とくに、灌水時に水滴が葉にかかると、昼中の強日射に水滴がレンズ効果をもたらし葉が日焼けしてしまいます。乾燥の激しい地域では、周辺土壤に塩類集積を招く危険性があるので、点滴灌漑のように根際に植物に必要な水分だけ供給ができるよう工夫することも大切です。

また、熱帯は、年間を通じて強い日射であるため、寒冷紗やニッパヤシの葉などを利用し日射を遮る必要があります。遮光は、日射を遮り陰を作ることにより、葉の日焼けを防ぐばかりでなく、地温の上昇を抑え、照り返しによる気温の上昇も防ぎます。

1—2—4 圃場管理

野菜づくりは、健苗育成のつぎに、いかに生育に適した圃場環境を整えるかが重要なポイントになります。

品質のよい野菜栽培に必要な圃場管理として、おもに圃場の土づくり、水管理が大切といえます。熱帯の土壤は、有機物含量が温帯の土壤の約1/3で、乾くとカチンカチンに固くなり、一旦雨が降るとズルズルに軟らかくなり、管理しにくい土壤です。そのため、土壤肥沃度を向上させるには、できるだけ有機物の施用を行う必要があります。有機物としては、堆肥のほか緑肥作物のすき込みなどを耕耘作業に合わせて行います。肥料の施用は、移植前の耕耘時に下層（15～30cm）に待ち肥、植え付け穴には根付け肥を施し、土つき苗を植えつけ、生育の過程に応じてこまめに追肥を行うことが有効です。肥料としては、できるだけ有機質のものを利用することが、周辺環境および持続的な生産力の維持に不可欠です。さらに、土壤を肥沃にする有機物は、現地で入手可能なものを活用することが、土づくりの習慣化に通じます。

単一作物の連続栽培は、病害虫の発生など連作障害を引き起こすため、年間の栽培計画を立てた輪作栽培、緑肥作物の導入を行うことが重要です。また、線虫など土壤病害虫の発生を防ぐため、土壤消毒を行うことも有効です。土壤消毒は、耕耘後、使用済みの古い透明のポリエチレンフィルムで土壤を覆い、10～20日間マルチします。日中の太陽熱によ

り、温度は45℃以上に上昇し、土壤消毒が可能です。

つぎに、耕耘ですが、降水量の少ない乾燥地域では、いかに土壤水分を保持していくかを十分考えた耕耘法を行います。つまり、雨期の耕耘は、できるだけ土中に水分を浸透させるために深耕し、乾期には、土壤からの水分蒸散を抑えるため、土壤の毛細管を切断するような浅耕を行います。育苗を行わない作物の場合、雨期の始めに播種を行います。雨期の最初の雨がきたらすぐに耕耘を始めることにより、病害虫の発生も少なく、水分を必要とする初期生育に十分な水の供給が可能です。また、これまでも述べてきたように乾燥地域では、灌漑により塩類集積を招く恐れがあるため、点滴灌漑、畝間灌漑など灌漑方法にも工夫が必要です。

さらに、熱帯地域では、日射が強く地温が上昇するため、地表面を藁や刈り草などで覆う土壤被覆（マルチング）が必要です。このマルチは、地温を調節するだけでなく、土壤水分の蒸発抑制、雑草および病害虫の防除、土壤浸食を防ぐ効果があります。また、果樹などの木本性作物などと一緒に栽培するカバークロップの混作も土壤表面の露出を防ぎ有効です。

1—2—5 養分欠乏

健全な野菜の栽培には、生育に必要な養分が効率よく土壤から供給される必要があります。しかし、生育過程において、ある種の要素の欠乏により生育障害がみられることが多くあります。要素欠乏の原因として、以下の2点が考えられます。

- (1) 養分の絶対量が土壤に不足している
- (2) 土壤中には養分は存在しているが、作物が吸収することができない

このような要素欠乏の診断として、欠乏症状のみられる植物および土壤の分析を行い診断する方法もありますが、分析には専門的な知識や設備が必要となるため、各要素欠乏に特有な症状を肉眼観察から判断し、対応していく診断技術が重要です。

要素欠乏は、葉部に最も現れやすく、欠乏要素によって葉肉部分の黄化、葉縁の枯死、葉色全体の濃紫色化など症状がみられます。要素欠乏症の見分け方として、まず、移行しやすい要素の欠乏症が発現する下葉（古い葉）、移行しにくい要素の欠乏症が発現する上葉（若い葉）のどちらから症状がみられるかを観察します。

下葉（古い葉）に症状のみられる要素・・・窒素、リン酸、カリウム、マグネシウム、

モリブデン

上葉（若い葉）に症状のみられる要素・・・カルシウム、ほう素、塩素、マンガン、鉄、
亜鉛、銅、硫黄

つぎに、おもな要素欠乏の特徴について説明します。

1) 窒素・・・下葉、黄化

下葉から黄化するクロロシス症状がみられます。窒素欠乏では、葉の葉緑素の生成を阻害されるため、生育が劣り葉色が薄くなり、黄化、枯死に至ります。また、生育は停滞し、茎は細く堅くなり、側枝の発生は少なくなります。

2) リン酸・・・下葉、濃緑および赤紫色化

下葉の葉辺部から発症し、光沢がなく濃い緑色（暗緑色）から、欠乏が進むとピンク色か赤紫色となります。また、茎が細く、側枝の発生が劣り、葉の小型化がみられます。通常、リン酸欠乏は、花芽、果実の着果、肥大期に発症します。しかし、欠乏が著しい場合は生育の初期からみられます。路傍の雑草の下葉が赤紫色を示していたら、その地域はリン酸の欠乏していることがわかります。

リン酸は、土壤の酸性化により、土壤中には存在しても、活性鉄やアルミニウムと結合し難溶化している場合がある。酸性土壤では石灰などの施用を行い土壤酸度の改良が必要です。また、砂漠に近い半乾燥地域では土壤がアルカリ性のため、リン酸がカルシウムと結合して難溶化し、リン酸欠乏を発症します。このような土壤の場合、堆肥などの有機物にリン酸を混合して、下層に層状に施用します。

3) カリウム・・・下葉、周縁部の黄白化

初期の症状として、下葉の周縁部を除いた部分で暗緑色がみられ、つぎに古い葉の先端や周縁部が黄白化してきます。さらに、黄白化が進むと褐色、赤褐色の斑点が発症し、やがて灰褐色となり組織が枯死していく、いわゆる葉焼けを起こします。カリウムの欠乏は、黄白化した周縁部と健全部分の境界がはっきりしていることが特徴です。また、作物によっては、まず葉に白い斑点が発症し、その後褐変することがあります。ヤシの葉は、白い斑点が黄化します。ヤシの葉が黄化しているところは、カリウムが欠乏しています。

カリウムは、硝酸態窒素とともに植物に吸収されることから、堆肥などの有機物を施用することにより、硝酸化成菌を活性化しカリウムの吸収が効果的に行われます。また、土壌の酸性化が進むとカリウムは流出しやすくなるため、土壌酸度の改良も必要です。

4) カルシウム・・・上葉、葉の先端の黄白化、トマトの尻ぐされ

カルシウムは、体内移行の困難な要素であるため、上葉の生長の盛んな若葉の先端部分に黄白化が現れます。さらに、欠乏が進むと黄化から褐色化し枯死に至ります。葉菜類の縁ぐされや心ぐされ現象はカルシウム欠乏です。また、茎は短く堅くなり、茎の生長点は急速に退化します。地下部では、根の表面にコルク層ができ、生長点付近が黒く変色し生長の抑制がみられます。果実の場合、結実が悪く、結実後もトマトやナスのように尻の部分から腐る尻ぐされが発生します。また、結球性の葉菜類では、生育の旺盛な中心部分の葉縁が、心ぐされを起こすことがあります。

カルシウムの吸収は、土壌の塩類濃度が高まると抑制される傾向があるので肥料の過剰施用に注意する必要もあります。

5) マグネシウム・・・下・中葉、葉脈間の黄化

中・下葉から、葉脈だけが緑で葉脈間の黄化、白色化がみられます。欠乏が進むと下葉から上葉へ症状が進行します。マグネシウムの欠乏は、トマトやスイカなど肥大した果実周辺の葉に発症することがあります。それは、マグネシウムが果実に移行するため、果実周辺の葉に症状が現れやすいのです。また、酸性土壌では、マグネシウムの流出が起こりやすく、土壌中に不足することがあります。なお、土壌中のカリウムやカルシウムが多すぎるとマグネシウムと拮抗作用を示し、植物にマグネシウムの欠乏症が現れることがあります。

以上のような欠乏症状が観察された場合、欠乏していると思われる要素の葉面散布を行い、症状の変化を観察し、欠乏要素を判断することも有効です。葉面散布は、土壌施用に比べ速やかに症状の回復がみられますが、効果は持続的でないことが欠点といえます。しかし、欠乏成分の判断には、葉面散布は特別な技術を必要としないことから、最も簡易かつ正確な方法といえます。

表1 野菜の要素欠乏症

発生部位	症状	欠乏要素	備考
全体	黄化、生育不良（草丈が短く、小型化）	窒素	
とくに、古い葉から （移行しやすい要素）	葉脈および葉柄に紫色、赤褐色 葉身は、やや濃緑色 先端の周辺部から赤紫、ピンク色 葉の小型化、根の細根の伸長不良	リン酸	ラテライト土壌、 アルカリ土壌に多い
古い葉 次第に新葉へ	葉が暗緑色、シワが多くゴツゴツする 葉の先端、葉縁が黄白化または褐斑 次第に脱水萎凋し、やがて褐変、壊死 下葉の落葉 黄白色と緑のコントラストが強い	カリウム	
	葉縁、葉脈間が黄化から白色、葉脈は緑 全体に黄化、生育不良 果実肥大期に、果実周辺の葉に症状がみられる	マグネシウム	酸性土壌に多い
	葉が内側に巻き込む（コップ状） 次第に、新葉に症状が進む	モリブデン	酸性土壌に多い
新葉 （移行しにくい要素）	葉の先端、葉縁が白色あるいは褐変枯死 緑ぐされ 葉柄には、症状なし 果菜類では尻ぐされ、結球ものでは心ぐされ	カルシウム	酸性土壌、高温多湿に多い
	葉脈を残し、淡緑色 萎縮や心ぐされはみられない	マンガン	
	葉脈に緑色を残し、黄白色および白色 頂芽が白色	鉄	アルカリ性土壌 砂質土壌に多い
	葉に黄斑、次第に全体に広がる 小葉が叢生状になる 黄斑と緑のコントラストが強い	亜鉛	アルカリ性土壌 溶脱の激しいラテライト土壌
	頂芽から黄化、萎縮、進行すると心ぐされ 葉柄が部分的にコルク化、縦ないし横に亀裂 茎の先端、葉柄がもろくなり割れる 茎の中心が黒く変色	ホウ素	中性、アルカリ性土壌に多い pH6.5 以上で発生

1—2—6 貯蔵・運搬

熱帯地域では、気温が高く収穫後の野菜の鮮度を維持することが困難です。しかし、鮮度維持を工夫することにより、野菜の不足しがちな周辺地域への野菜の供給量を増加することができます。

日持ちのよい野菜を作るには、根の丈夫な野菜を作ることが大切です。根の活力が高い野菜は植物ホルモンのサイトカイニンの含量が高く、収穫後もいつまでも葉の緑色を保ちます。また、青果物の収穫前は、数日灌水を控えて土壌を乾燥ぎみにします。雨天は収穫

を避け、晴天が続いている翌朝早く収穫します。日持ちがよく、品質のよい青果物となります。

野菜の収穫時刻は、日射が強く気温の上昇の激しい日中は避け、比較的涼しい早朝に行う必要があります。また、収穫した野菜は、直接日射を浴びると劣化しやすいため、必ずむしろなどで覆うか屋内に置くことが大切です。また、収穫後も野菜は、呼吸をしており、高温条件下では、呼吸量は増加し鮮度が低下します。そのため、できる限り涼しい場所に保存することが理想です。

さらに、保存姿勢によって、鮮度が左右されます。この保存姿勢が鮮度に影響する原因は、野菜から生成されるエチレンガスにあるといわれています。植物は栽培されていた状態と異なる姿勢で保存された場合、例えば、横詰めにして集荷したときなど、寝かされることにより重力刺激を受け、体内のエチレン生成を増大させます。この体内からのエチレン生成は、呼吸の増大を促し、鮮度を落とすだけでなく、エネルギーの消費から糖分量、ビタミンCなどを分解し、野菜自体の栄養価を低下させることに通じます。

以上のように、野菜を含め農作物は、収穫されてから消費者の手に届くまで鮮度を落とすことなく、品質を保つことが重要です。とくに、鮮度の低下が速い熱帯地域では、野菜の貯蔵および輸送時における鮮度保持について、さらなる工夫をすることが生産量の増加と同様に今後の大きな課題といえます。