

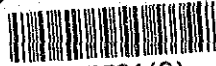
中国科学院
植物研究所
植物分类学报

中国科学院
植物研究所
植物分类学报

マリ共和国 ブグニ地域
資源開発協力基礎調査報告書

第 1 年 次

JICA LIBRARY



1097734(6)

2374/

平成 4 年 2 月

国際協力事業団
金属鉱業事業団

国際協力事業団

23741

は し が き

日本国政府は、マリ共和国政府の要請に応え、同国南西部に位置するブグニ地域の鉱物資源賦存の可能性を確認するため、地質調査、地化学探査などの鉱床探査に関する諸調査を実施することとし、その実施を国際協力事業団に委託した。国際協力事業団は、本調査の内容が地質及び鉱物資源の調査という専門分野に属することから、調査の実施を金属鉱業事業団に委託することとした。本調査は、平成3年度を第1年次とする第1年次に当たり、金属鉱業事業団は6名の調査団を編成して平成4年1月8日から平成4年2月15日まで現地に派遣した。

現地調査は、マリ共和国政府機関、地質鉱山局の協力を得て予定どおり完了した。

本報告書は、本年次の調査結果をとりまとめたもので、最終報告書の一部となるものである。

おわりに、本調査の実施にあたってご協力いただいたマリ共和国政府関係機関、ならびに外務省、通商産業省、在セネガル国日本大使館及び関係各社の方々に衷心より感謝の意を表すものである。

平成4年2月

国際協力事業団

総 裁 柳 谷 謙 介

金属鉱業事業団

理事長 福 原 元 一

要 約

要 約

本報告書は、マリ共和国ブグニ地域における鉱物資源開発協力基礎調査（資源調査）の第1年次の調査結果をまとめたものである。

現地調査は、平成4年1月8日から平成4年2月6日の期間に、マリ共和国地質鉱山局（DNGM）の協力のもとに、国際協力事業団及び金属鉱業事業団が派遣した調査団によって実施された。

第1年次の調査として、衛星画像解析、地質調査、地化学探査及び鉱徴地調査を実施した。これらの調査の目的は、地質状況及び鉱床賦存状況を把握し、新鉱床を発見することにある。

ブグニ地域の地質は、主に先カンブリア系及び先カンブリア時代の花崗岩類からなり、一部に中生代火成岩類が貫入する。これらの地表部はラテライトに被覆され、河川沿いには河川堆積物が分布する。

衛星画像解析及び地質調査の結果、西アフリカにおける金鉱床胚胎層準である Birrimien累層群の分布が以下の5地区で確認された。それらは、Kekoro（分布面積 1,200km²）、Keleya（分布面積 700km²）、Bougouni（分布面積 1,100km²）、Selingue（分布面積 600km²）及びDoussoudiana-Foulaboula（分布面積 1,800km²）の各地区である。その分布面積の総計は約5,400km²で、調査面積の約40%を占める。

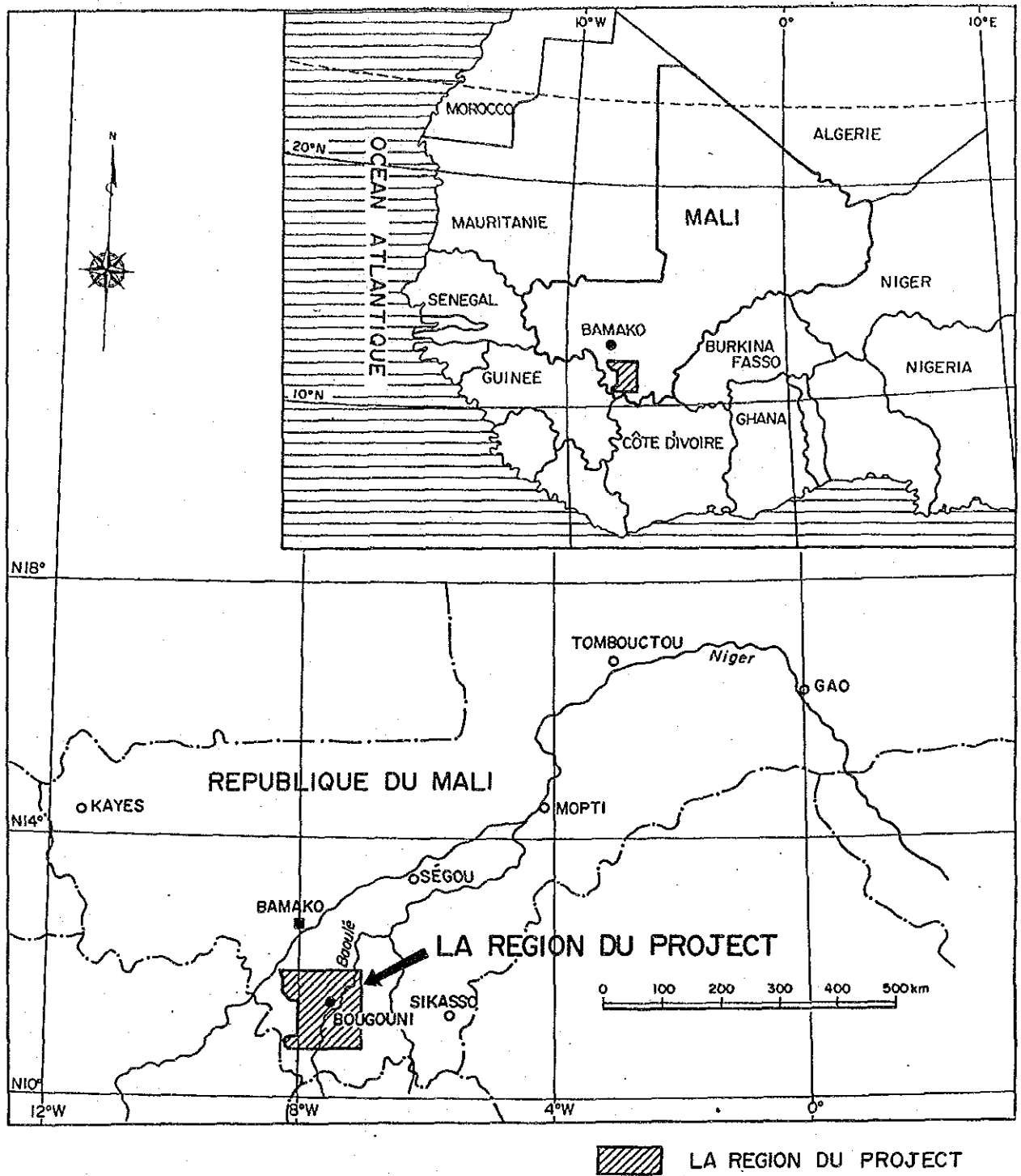
地化学探査の結果、指示元素として取り上げたAu・Cu・Pb・Zn・Asの地化学異常が、全て認められる地区としてSelingue地区が抽出された。

鉱徴地調査の結果、本調査地域には金及びリチウムの鉱化作用が認められ、金は砂金として濃集したもの、含金石英脈及びその網状脈に伴われたもの、アプライトに伴われたものがあり、リチウムはペグマタイトに伴われている。これらの中でも経済的に重要であり、今後更に探鉱を行う必要があると考えられるのは、含金石英脈及びその網状脈に伴われた金の鉱化帯である。

一方、本調査地域外ではあるが、本調査地域の中心地 Bougouniの南東方約150kmに、現在高収益で操業中のSyama鉱山がある。Syama鉱床は、13-16世紀の砂金採掘跡に対して行われた空中磁気探査、ボーリング調査、地化学探査などの組織的探鉱によって発見され、鉱床は Birrimien累層群中に胚胎する含金石英網状脈からなる。

鉱徴地調査及び地化学探査の結果、最も有望であると結論されたSelingue地区には、採掘可能な砂金鉱床があり、Syama 鉱床のように砂金を端緒として原岩の含金石英脈が発見された例が西アフリカに多いことから、Selingue地区で砂金の源と推定される含金石英脈及びその網状脈鉱床が発見される可能性は非常に大きい。

第2年次の調査としては、最近の金鉱床の探査が微量の金を直接の指示元素とする地化学探査を主体とし、これにより多くの鉱山が発見されていることを鑑み、既にUNDPにより地化学探査が実施された本調査地域の南端部を除く Birrimien累層群分布域を対象とした広域地化学探査の実施が望まれる。



ブグニ地域位置図

目 次

はしがき

要 約

ブグニ地域位置図

目 次

図表一覧

第 I 部 総 論

第 1 章 序 論	3
1. 1 調査の経緯及び目的	3
1. 2 調査の概要	3
1. 2. 1 調査地域	3
1. 2. 2 調査内容	4
1. 3 調査団の編成	4
1. 4 調査期間	5
第 2 章 調査地域の地理	6
2. 1 位置及び交通	6
2. 2 地形及び水系	7
2. 3 地勢	7
2. 4 気候及び植生	7
第 3 章 調査地域の既存地質情報	9
3. 1 既往調査の概要	9
3. 2 調査地域の地質的位置付け	10
3. 2. 1 西アフリカの地質的背景	10
3. 2. 2 マリ共和国の地質概要	11
3. 3 調査地域周辺の一般地質	15
第 4 章 調査結果の総合検討	17
4. 1 衛星画像解析	17
4. 2 地質調査・地化学探査	17

4.2.1	地質調査	17
4.2.2	地化学探査	18
4.3	鉱徴地調査	19
第5章	結論及び第2年次調査への提言	21
5.1	結論	21
5.2	第2年次調査への提言	21

第Ⅱ部 各 論

第1章	衛星画像解析	25
1.1	使用データ、画像作成及び現地調査	25
1.1.1	使用データ	25
1.1.2	画像作成	27
1.1.3	現地調査	27
1.2	解析及び調査結果	33
1.2.1	岩相区分	33
1.2.2	地質構造	39
1.3	考察	45
第2章	地質調査・地化学探査	47
2.1	調査方法	47
2.2	地質調査	47
2.2.1	文献調査	47
2.2.2	地質概要	47
2.2.3	Birimien 累層群	51
2.2.4	花崗岩類	55
2.2.5	貫入岩類	57
2.2.6	岩脈類	59
2.2.7	被覆層及び沖積層	59
2.2.8	地質構造	60
2.3	地化学探査	61
2.3.1	試料の採取及び調整	61
2.3.2	調査結果	61

2.4 考察	62
第3章 鉱徴地調査	64
3.1 調査方法	64
3.2 調査結果	64
3.2.1 Foulaboula地区	64
3.2.2 Selingue地区	72
3.2.3 Kekoro地区	74
3.2.4 リチウム鉱徴地	78
3.3 考察	80

第Ⅲ部 結論及び提言

第1章 結論	85
第2章 第2年次調査への提言	86
文 献	87

図 表 一 覧

図1 調査地域位置図
図2 調査範囲図
図3 マリ共和国気候及び植生区分図
図4 調査地域既往調査概略図
図5 西アフリカ剛塊構造図
図6 マリ共和国地質図
図7 ブグニ地域周辺の地質概略図
図8 Birrimien累層群分布地区
図9 画像位置図
図10 解析範囲図
図11 フォールスカラー画像
図12 主成分圧縮処理画像
図13 岩相区分図

- 図14 地質構造解析図
- 図15 ローズダイアグラム
- 図16 地質概略図及び地質概略断面図
- 図17 ブグニ地域地質模式層序図
- 図18 鉍徴地位置図
- 図19 Foulaboula地区鉍化帯断面図
- 図20 Foulaboula地区試料採取位置図
- 図21 Selingue地区試料採取位置図
- 図22 Kekoro地区試料採取位置図
- 図23 リチウム鉍徴地位置図

- 表1 調査内容及び調査量
- 表2 分析項目及び成分
- 表3 Birrimien 累層群の地区別面積
- 表4 地化学異常地区
- 表5 Foulaboula地区鉍徴地調査結果一覧表
- 表6 Selingue地区鉍徴地調査結果一覧表
- 表7 Kekoro地区鉍徴地調査結果一覧表
- 表8 画像データの諸元
- 表9 主成分分析統計値一覧表
- 表10 主成分評価一覧表
- 表11 画像判読ユニット一覧表
- 表12 構造パターン要素一覧表
- 表13 方位別リニアメント集計表
- 表14 ブグニ地域周辺の層序対比表
- 表15 分析所及び分析成分
- 表16 標準統計量及びしきい値
- 表17 リチウム鉍徴地の鉍量
- 表18 鉍石分析結果 (Sogola)

巻 末 資 料

- 資料1 検鏡結果一覧表

資料 2 X線回折法試験結果一覧表

資料 3 化学分析結果一覧表

TABLE DES CARTES

(付図)

Ct.1 Plan et profile esquisse geologique du region de Bougouni

(付図 1 ブグニ地域地質概略図及び地質概略断面図)

Ct.2 Prelevement des echantillons du region de Bougouni

(付図 2 試料採取位置図)

Ct.3 Carte des anomalies geologique d'or

(付図 3 地化学探査異常図 Au)

Ct.4 Carte des anomalies geologique de cuivre

(付図 4 地化学探査異常図 Cu)

Ct.5 Carte des anomalies geologique de zinc

(付図 5 地化学探査異常図 Zn)

Ct.6 Carte des anomalies geologique de plomb

(付図 6 地化学探査異常図 Pb)

Ct.7 Carte des anomalies geologique de d'arsenic

(付図 7 地化学探査異常図 As)

第 I 部 總 論

第I部 総論

第1章 序論

1.1 調査の経緯及び目的

日本国政府は、マリ共和国政府の要請に応じて、ブグニ地域の資源開発協力基礎調査を実施することとし、1991年11月8日に本調査の実施に関するScope of Workをマリ共和国政府と交換した。このScope of Work についてのマリ共和国政府の回答に基づき、日本側国際協力事業団及び金属鉱業事業団とマリ側地質鉱山局は、調査の実施細目を定めこれに調印した。

本調査は、調印されたScope of Work と実施細目に基づき、資源開発協力基礎調査ブグニ地域の第1年次として実施されたものである。

本調査は、ブグニ地域において衛星画像解析、地質調査、地化学探査及び鉱徴地調査を実施することによって、地質状況及び鉱床賦存状況を把握し、新鉱床を発見することを目的とすると同時に、調査全般を通じて相手国機関に技術移転を図ることを目的とする。

1.2 調査の概要

1.2.1 調査地域

本調査地域は、北緯10° 54' -12° 00'、西経 7° 00' -8° 18' の間を占め、マリ共和国の南西部、首都バマコの南方に位置している（図1）。調査面積の合計は、14,000km²である。

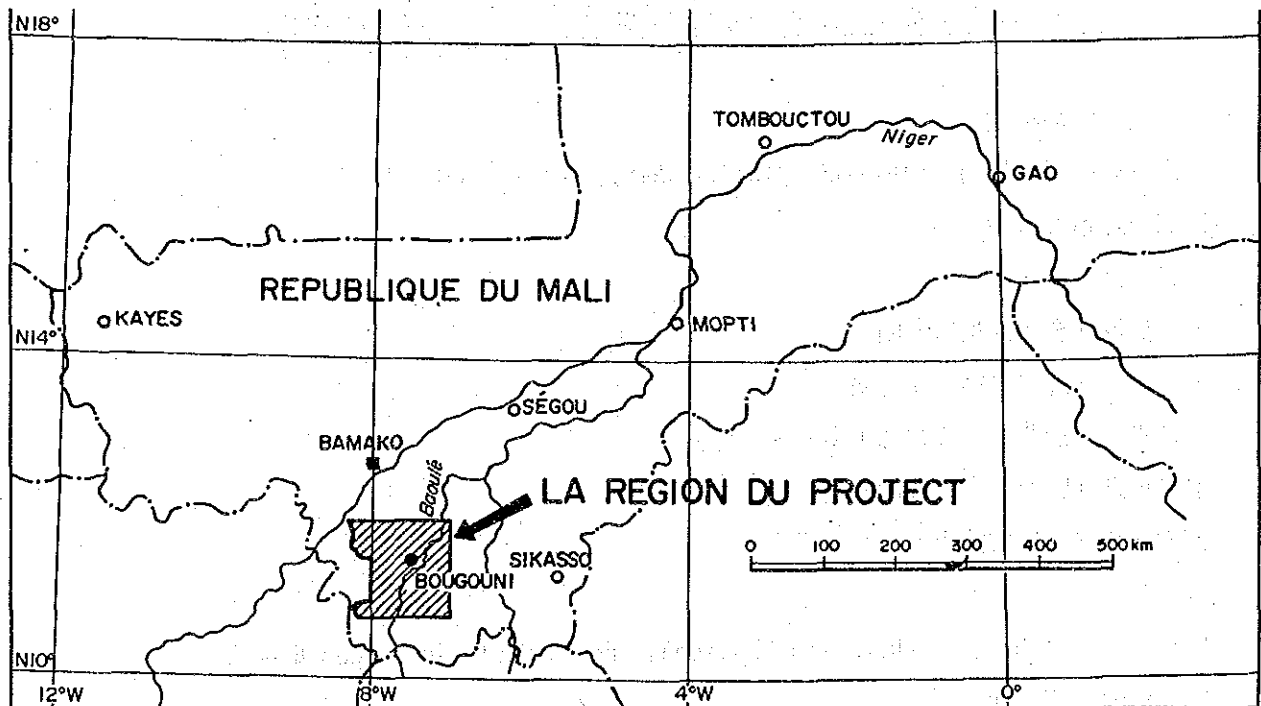


図1 調査地域位置図

1.2.2 調査内容

調査内容及び調査量、分析項目及び成分などをそれぞれ表1と表2に示す。

表1 調査内容及び調査量

調査内容	調査数量など	
衛星画像解析 地質調査・地化学探査	調査面積	14,000 km ²
	調査面積	14,000 km ²
	踏査距離	500 km
	(鉱徴地調査21箇所を含む)	
	室内試験採取件数	
	1) 全岩分析試料	10 件
	2) 鉱石分析試料	60 件
	3) 土壌分析試料	1,000 件
	次の分析用試料を採取	
	a) SiO ₂ , CaO, Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ , FeO MnO, MgO, Na ₂ O, K ₂ O, P ₂ O ₅ , LOI	
b) Au, Ag, Cu, Pb, Zn, As, Sb		
4) 同位体年代測定試料(Rb-Sr)	5 件	
5) X線回折試験試料	10 件	

表2 分析項目及び成分

分析項目及び成分	数量
岩石薄片作成	30 枚
鉱石研磨片作成	10 枚
X線回折試験	10 件
化学分析	1,000 件
*土壌試料分析(Au, Ag, Cu, Pb, Zn, As, Sb)	(7,000 成分)

*土壌試料分析はマリ側分析所にて実施

1.3 調査団の編成

本調査の計画と折衝、現地調査に参加した調査員は次のとおりである。

(1) 調査計画と折衝

(a) 日本側

増田信行 (金属鉱業事業団)

増尾 学 (外務省経済協力局)

池田真二 (通商産業省資源エネルギー庁)

前島正道 (国際協力事業団)

高本宏介 (金属鉱業事業団)

(b) マリ側

Mory KANE (Direction Nationale de la Geologie et des Mines)

Hilarion TRAORE (")

Namakan KEITA (")

Hamadoun BA (Direction Nationale de la Geologie et des Mines)
 Djibourula TOGOLA (")
 Ibrahim SISSOKO (")
 Diome DIOMBANA (")
 Mohamed KEITA (")
 Mra SAMAKE Kadiatou SIDIBE (Ministere des Affaires Etrangères et de la
 Cooperation Internationale)

(2) 現地調査

(a) 日本側

武山 眞 (住鉱コンサルタント株式会社)
 名取 二郎 (")
 鈴木 英雄 (")
 高野 肇 (")
 尾尻 敏彦 (")
 伊藤 順一 (")

(b) マリ側

Hamadoun BA (Direction Nationale de la Geologie et des Mines)
 Ibrahim SISSOKO (")
 Diome DIOMBANA (")
 Emmanuel THERA (")
 Zoumana DEMBELE (")
 Tahirou FAROTA (")

(3) 現地指導監督

鈴木哲夫 (金属鉱業事業団)

1.4 調査期間

平成4年1月8日から平成4年1月30日まで現地調査を行い、平成4年1月31日から平成4年2月6日まで現地共同解析を実施し、平成4年2月7日から平成4年2月28日まで総合解析と報告書の作成を行った。

第2章 調査地域の地理

2.1 位置及び交通

本調査地域は、北緯 $10^{\circ}54'$ - $12^{\circ}00'$ 、西経 $7^{\circ}00'$ - $8^{\circ}18'$ の間を占め、マリ共和国の南西部、首都バマコの南方に位置している。

本調査地域内には、バマコから調査地域の中央部を通して西へ向かう幹線道路が通じており、調査地域の中央に位置するBougouniまでは、この道路を利用して約160km、車で約2時間の行程である(図2)。

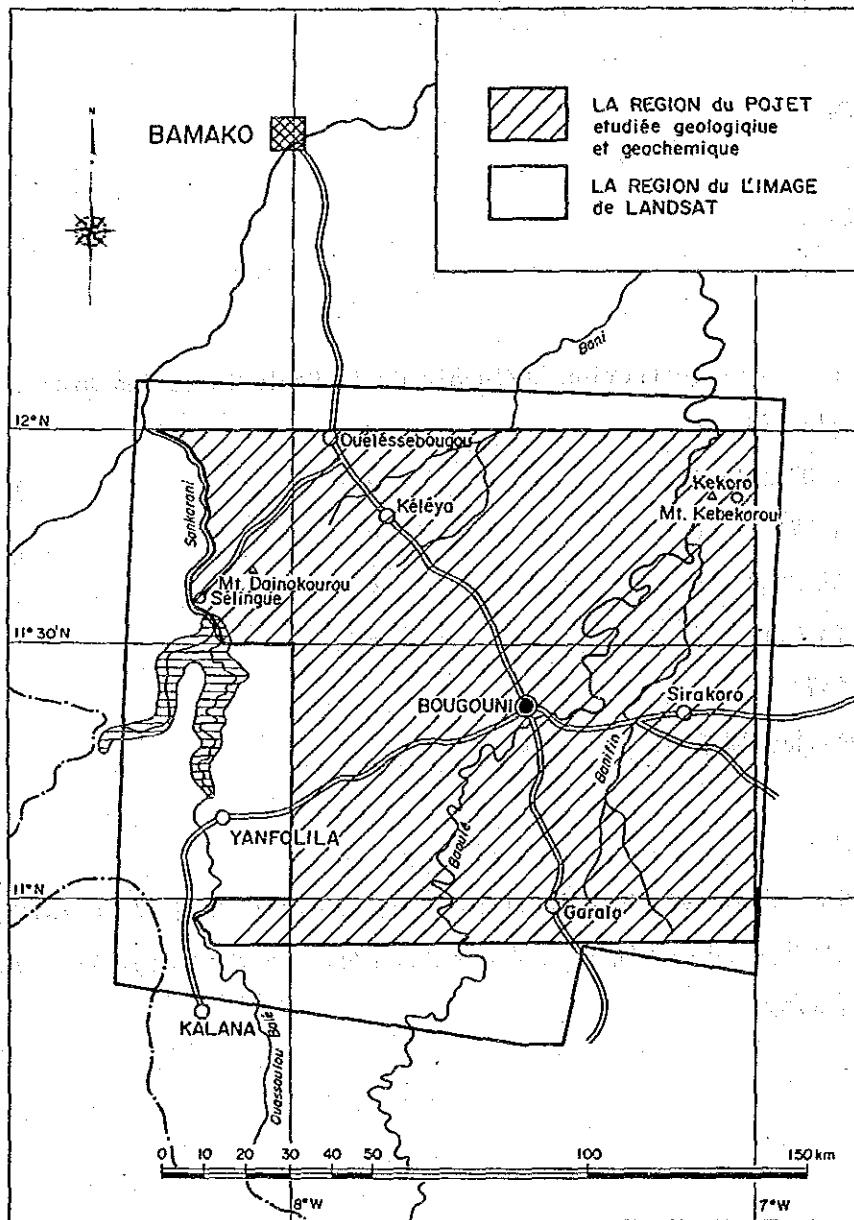


図2 調査範囲図

2.2 地形及び水系

本調査地域の大部分は、標高350-390mの準平原であり、北東部には標高500m以上の山地、北西部には標高400-480mの山地が含まれる。

ここに山地とした地形は、地域北東部のMt. Kebekorouを中心とする、主にドレライトからなる地区及び地域西部のMt. Dainokourouを中心とする、Birrimien累層群からなる地区を指す。どちらの地区でも環状構造が認められる。

本調査地域を刻む主な水系を見ると、蛇行しながら北又は北北東に向かって流下するものが多い。主要な河川として、Baoule川及びその支流のBanifin川とSankarani川がある。これらの河川沿いには平坦地が広がっている。

Baoule川は、Birrimien累層群の分布域を縦貫して、本調査地南方から北に向かって流下し、Bougouni付近で湾曲しながら北東に流路を変える。Sankarani川は、本調査地北東端を花崗岩とBirrimien累層群の境界付近に沿って、地質構造の規制を受けながら北に向かって流下する。

2.3 地 勢

マリ共和国には、ギニア国境のフータ・ジアロンに源を発する二つの大きな川がある。一つは北西に流れるセネガル川であり、もう一つは北東に流れTombouctouから大きく湾曲して南東に流れるニジェール川である。マリ共和国の地勢はこのニジェール川を境とし、湾曲部北方の北部地帯と湾曲部から南西方にかけての地帯の二つに大きく分けられる。

北部地帯はマリ共和国の1/3を占め、いわゆるサハラ砂漠の延長に当たる。ニジェール川の湾曲部から南西方にかけての地帯は、草原性の半砂漠で、南下するに従って樹木のある草原からサバンナ森林地帯となっている(図3)。

2.4 気候及び植生

マリ共和国の気候は、大きく乾期と雨期の二つに分けられる。乾期は12月頃から5月までの期間で、3月までは比較的涼しい。雨期は6月から10月頃までの期間で、湿度が高く、降雨量が多い。しかし、マリ共和国の気候は緯度によって、その温度、降雨量がかなり異なっている。

すなわち、マリ共和国の北部地域は、砂漠地帯であるためサハラ性気候で、降雨量も極めて少なく、年間100mmを越えない。

マリ共和国の中央部は、ステップ気候で雨期には年間700mmの降雨を伴う。昼夜の温度差は4月から6月の期間及び乾いた風が吹く12月ではかなり大きい。

一方、調査地域を含むマリ共和国の南部は、サバンナ気候で大陸的である。温度及び湿度は地域及び昼夜によって大きく異なっている。乾期は11月から5月までの期間であるが、11月から2月までの冷乾期と3月から5月までの暑乾期とに分けられる。冷乾期は乾燥していて涼しい時期で、温度は日中で36°C、夜で6-10°Cである。暑乾期は乾燥していて暑い時期で、日中の温度

は更に上がり35-45°Cとなる。雨期は6月から10月にかけてである。最近10年間の年間降雨量は800-1,000 mmで、それ以前の年間降雨量である1,200-1,500 mmに比べて少なくなっている。

本調査地域を含むマリ共和国南西部のサバンナ地帯は、植生の上では3帯に区分されることが多い。本調査地域は、このうちのスーダン帯に属し、疎林ではあるが、きわたの木、マンゴの木、バオバブの木などの高木林が地表を覆っている。高木林のあいだには、草木や背の高い草が入り混じっている。これらの草木は、乾期には落葉したり枯れたりし、雨期の前後から一斉に芽吹く。

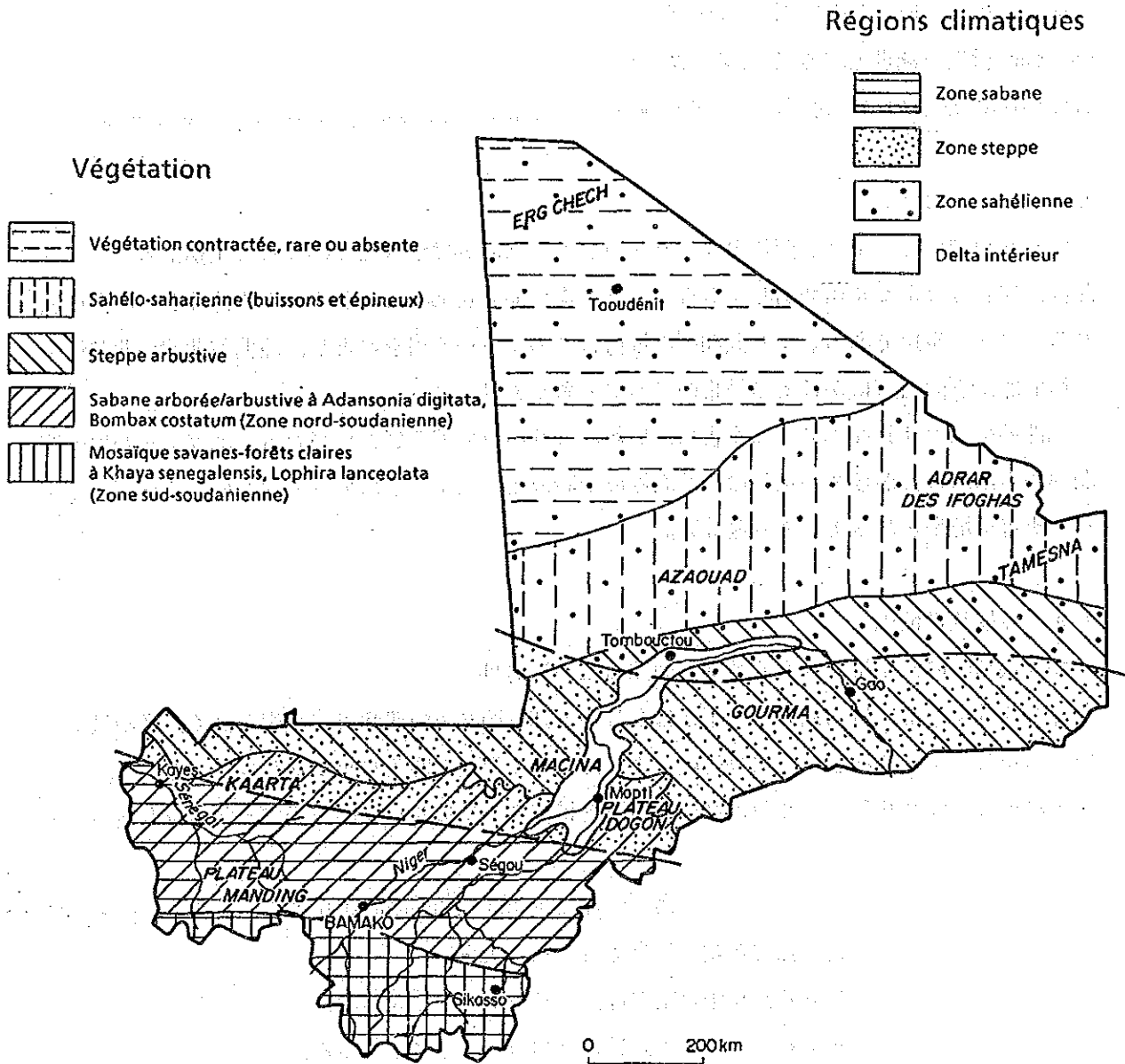


図3 マリ共和国気候及び植生区分図

第3章 調査地域の既存地質情報

3.1 既往調査の概要

本調査地域内には、現在操業中の鉱山は存在しないが、本地域の南端部及び北東部では、図4に示すように、これまでかなりの探鉱活動が行われている。

本地域における現在までの探査の歴史は、概略以下のとおりである。

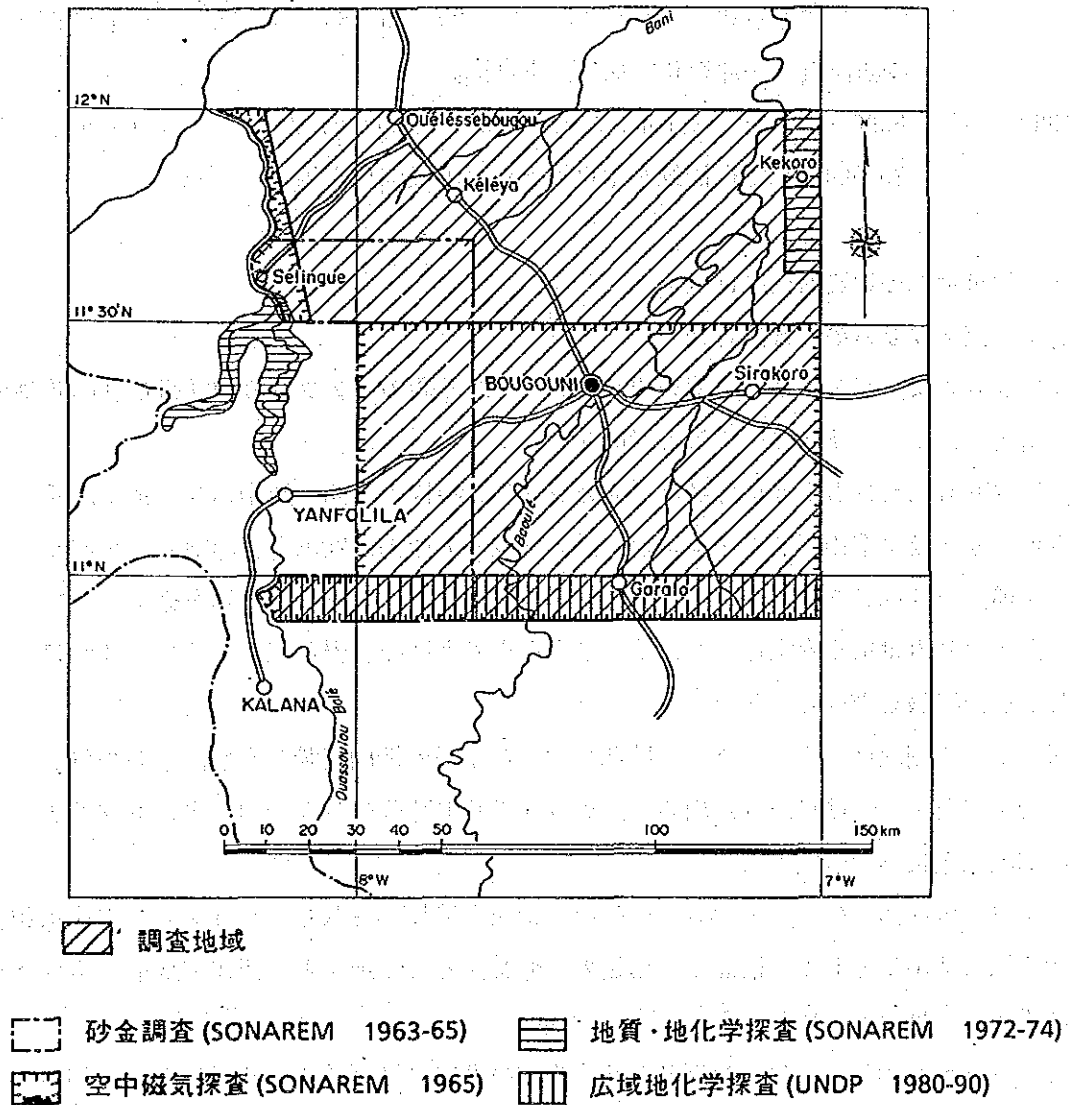


図4 調査地域既往調査概略図

- 1949 - 50年 SpindlerがBougouni地域西方で地質調査を実施。
- 1950 - 51年 SpindlerがBougouni地域東方で地質調査を実施。
- 1963 - 65年 SONAREM (Societe Nationale de Recherches et d'Exploitation miniere) が Bougouni地域南西方で、沖積堆積物を対象とした砂金調査を実施。
- 1964 - 65年 SONAREM がBougouni地域でベグマタイト中のリシア輝石を対象としたボーリング調査を実施。
- 1965年 SONAREM がBougouni-Sikasso地域で空中磁気探査を実施。
- 1970 - 72年 SONAREM がBougouni地域でベグマタイト中のリシア輝石を対象としたボーリング調査を実施。
- 1972 - 74年 BRGM (Bureau de Recherches Geologiques et Minieres) がBougouni-Sikasso地域 (調査面積30,000km²) でCu, Ni, Pb, Zn, Sn, Li, Nb, Taを主目的とした広域地質調査 (一部地化学探査) を実施。
- 1980 - 90年 UNDP (United Nations Development Program) がマリ共和国南部で (調査面積25,000km²) で金探鉱を主目的とした広域地化学探査を実施。

3.2 調査地域の地質的位置付け

3.2.1 西アフリカの地質的背景

西アフリカは、西アフリカ剛塊を中心とし、大西洋側の西アフリカ褶曲帯及び内陸側の汎アフリカ造山帯によって特徴づけられる (図5)。

西アフリカにおける主要な変動は、先カンブリア時代の4回の造山運動である。すなわち、リンポボーリベリア造山 (27±2億年前)、エブルニア造山 (20±2億年前)、キバラ造山 (11±2億年前) 及び汎アフリカ造山 (6±2億年前) である。これらの変動を終了して古生代に入ると、西アフリカは広く安定化され、その後現在まで大地の緩慢な隆起・沈降の変動はあっても、激しい造山運動を受けていない。

西アフリカ剛塊は、先カンブリア時代に起った4回の造山運動のうち、末期の汎アフリカ造山の影響をほとんど受けなかった地帯で、先カンブリア時代の基盤岩類と先カンブリア時代後期以降の卓状地堆積物で構成される。

西アフリカ褶曲帯は、前～中期古生代の卓状地堆積物からなり、パリスカン造山に相当する古生代後期の造山帯である。褶曲帯は東側の変形を主とした地帯と、西側の変形・変成作用や火成岩の貫入を受けた地帯に分けられる。

汎アフリカ造山帯は、先カンブリア時代末期の汎アフリカ造山の変動を受けた地帯で、先カンブリア時代の基盤岩類と古生代以降の卓状地堆積物で構成される。

このように、西アフリカの地質は、西アフリカ剛塊を中心とする剛塊の形成と成長、剛塊の縁での地向斜の発達と造山運動 (汎アフリカ造山)、安定な剛塊地域での卓状地堆積物の堆積など

で特徴づけられる。なお、先カンブリア楯状地には、古生代以後少なくとも3回の性質を異にする火成活動がみられる。

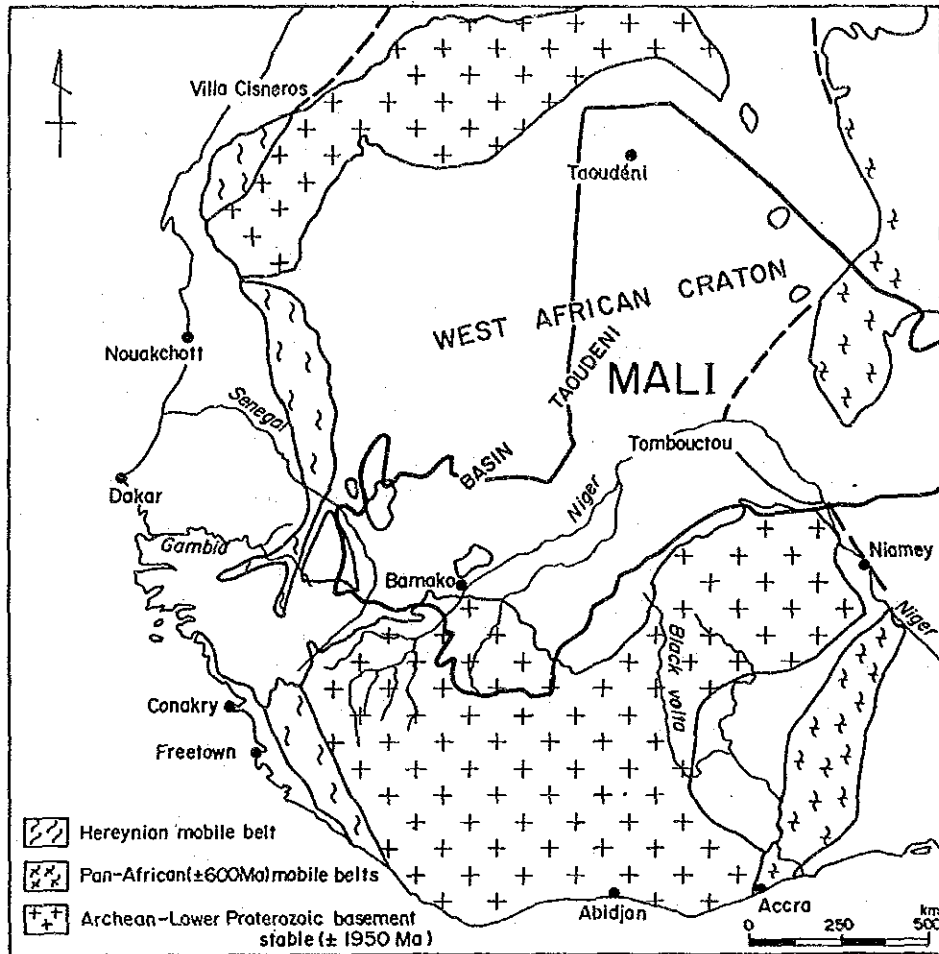


図5 西アフリカ剛塊構造図

3.2.2 マリ共和国の地質概要

マリ共和国は、東側の一部を除き、大半が西アフリカ剛塊に属している。この西アフリカ剛塊では、先カンブリア時代後期以後、その中心部がゆるく沈降し、いわゆるTaoudeni盆地が形成された。そこで、沈降以前の古い基盤は、南と北の2つの地域に分かれた分布を示す(図5)。

本調査地域は、マリ共和国の南西部に位置し、西アフリカ剛塊の南側の基盤岩地域に属している。西アフリカ剛塊南側の基盤岩は、花崗岩、片麻岩及び混成岩からなる花崗岩類とBirrimien累層群で構成され、前者はアンチフォームを形成し広大な分布を示す。Birrimien累層群は、いわゆる緑色岩帯を構成する地層で、火山岩を主体とする下部層と堆積岩を主体とする上部層に区別される(図6)。

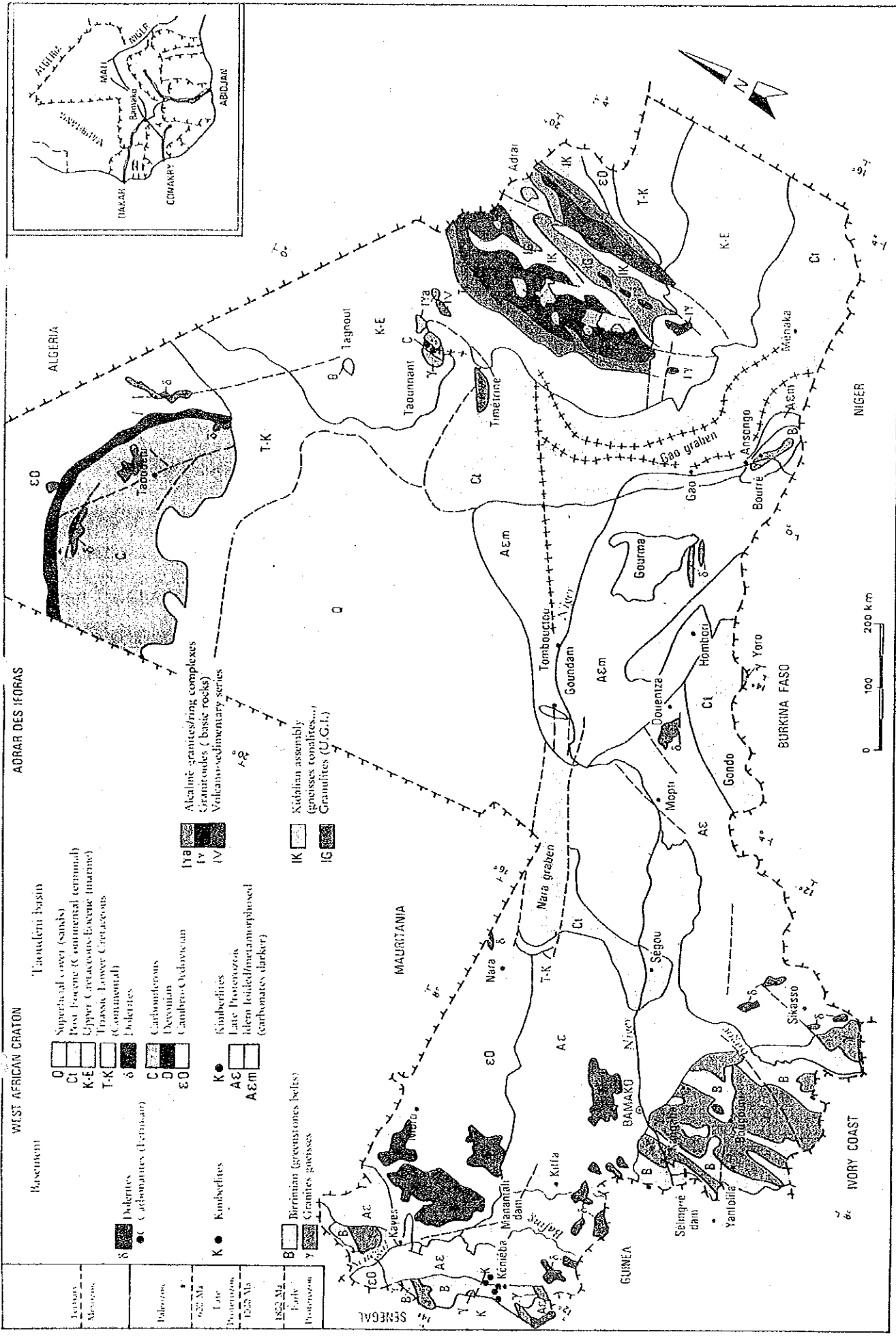


図6 マリ共和国地質図 (UNDP 1987)

3.3 調査地域周辺の一般地質

本調査地域及びその周辺は、西アフリカ剛塊南側の基盤岩地帯に属し、花崗岩類とBirrimien累層群が分布する。花崗岩類は、アンチフォームをなして広く分布し、東から西へ、Kadiolo岩体、Kolondieba - Madinani岩体及びSankarani岩体に分けられる。一方、Birrimien累層群は、花崗岩類中に幅数10kmで北北東-南南西方向に数100kmにわたって延長する複数のシンフォームを形成している(図7)。

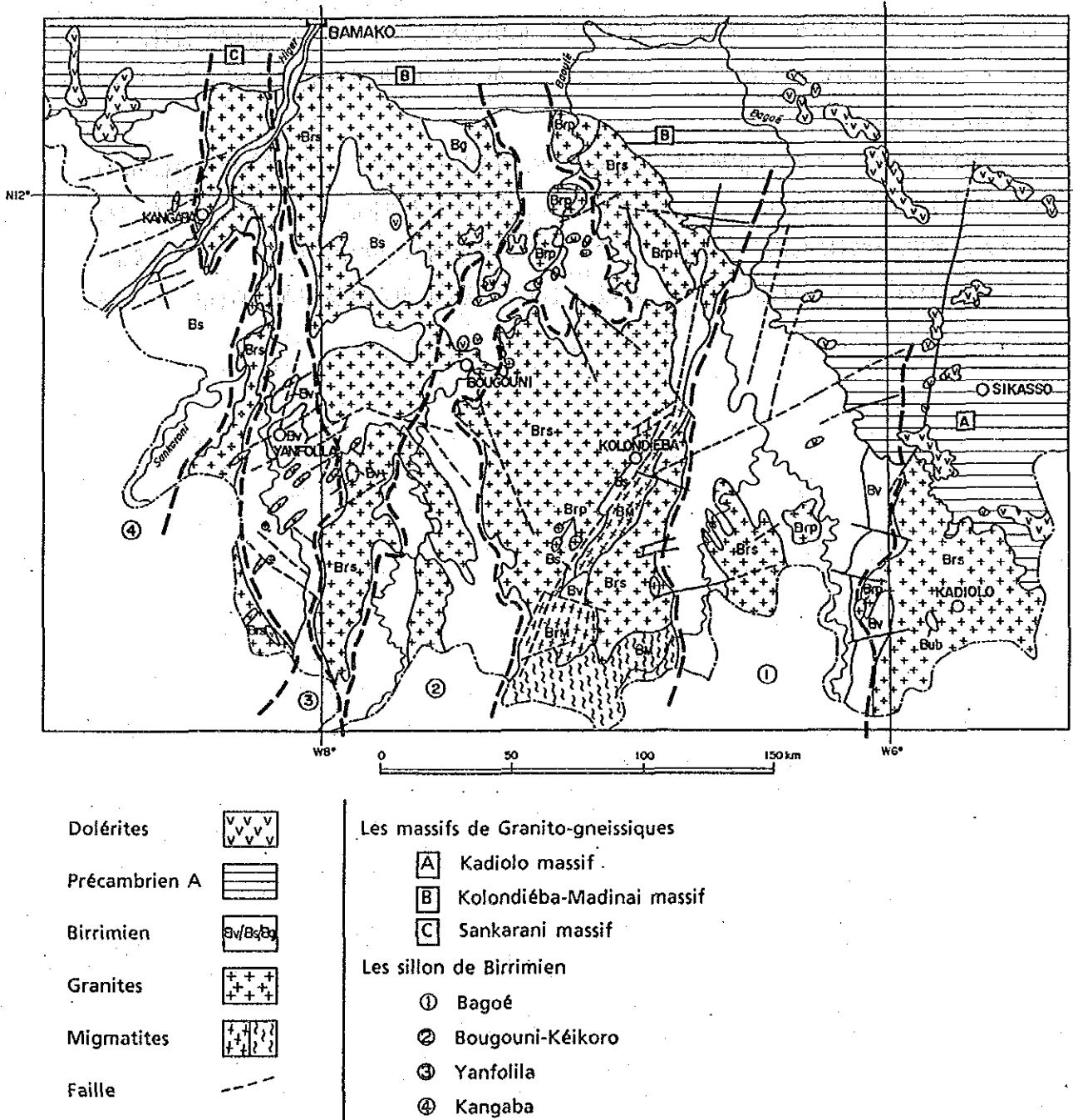


図7 ブグニ地域周辺の地質概略図

複数のシンフォームを形成して分布するBirrimien累層群は、東から西へ、Bageo帯、Bougouni-Kekoro帯、Yanfolila帯及びKan-gaba帯に分けられる。Bageo帯は、複向斜構造を示し、Bageo川沿いに分布する。その中心部は陸成堆積物（片岩、グレーワッケ）で占められるが、周縁部は変火山岩類（安山岩、玄武岩、石英安山岩、凝灰岩類）からなる。周縁部では、まれに礫岩及びグレーワッケが分布することがある。Bougouni-Keikoro帯は、黒雲母に富んだホルンフェルスで特徴づけられ、変火山岩（特に安山岩）を伴うことがある。Yanfolila帯は、フレッシュ型の堆積岩（片岩、グレーワッケ）で特徴づけられるが、火山岩及び珪岩を含む。Kangaba帯は、そのほとんどがギニアに分布するのでよく知られていないが、その岩相はYanfolila帯に類似しているものと思われる。

本調査地域を含むマリ共和国南部には、多くの鉱徴が知られている。その主なものはBirrimien累層群分布地帯の金と鉛、ペグマタイトに関係するリチウム、錫、タングステン、ニオブ、タンタル、超塩基性岩に関係するニッケル、銅、白金、花崗岩に関係するウランなどである。

特に、Birrimien累層群分布域では、地域住民による金の採掘が数世紀前から行われている。

第4章 調査結果の総合検討

4.1 衛星画像解析

本画像解析は、図8に示す2シーンのランドサットTMデータを用いて、図9に示す範囲のフォールスカラー画像及び主成分圧縮処理画像を作成し、これらについて写真地質学的判読作業を行うことによって、本調査地域の広域的な地質状況及び地質構造を把握し、現地調査ルートの設定に資することを目的として実施された。判読結果は、現地調査の結果と併せて総合的に解析され、図9・10に示す判読図としてまとめられた。なお、岩相区分に際して花崗岩とBirrimien累層群の区分に重点を置いた。

本画像解析の結果及び現地調査の結果を総合すると以下のことが指摘される。

- ①解析の結果得られた岩相区分は、現地調査による地質区分と大局的には対応している。
- ②リニアメントの大部分がBirrimien累層群分布域で判読され、花崗岩分布域には少ない。
- ③鉱徴が確認された地区には、環状構造、水系異常、リニアメントの集中などの特徴的な構造パターンが認められる。

4.2 地質調査・地化学探査

4.2.1 地質調査

地質調査は、Bougouni地域（面積 14,000kd）を対象に、金鉱床胚胎層準であるBirrimien累層群の分布の把握を主目的として実施された。

本調査地域には、先カンブリア系及び先カンブリア時代の花崗岩類が主に分布し、中生代火成岩類が一部に貫入している。そのほか、地表部は広くラテライト、砂～シルトに被覆され、河川沿いには河川堆積物が分布している。

地質調査の結果によれば、本調査地域に分布するBirrimien累層群の分布総面積は、5,400kdと判明した。表3に地区別の面積を示す。

表3 Birrimien累層群の地区別面積

地 区	面積 (kd)
Kekoro	1,200
Keleya	700
Bougouni	1,100
Doussoudiana-Foulaboula	1,800
Selingue	600
総 計	5,400

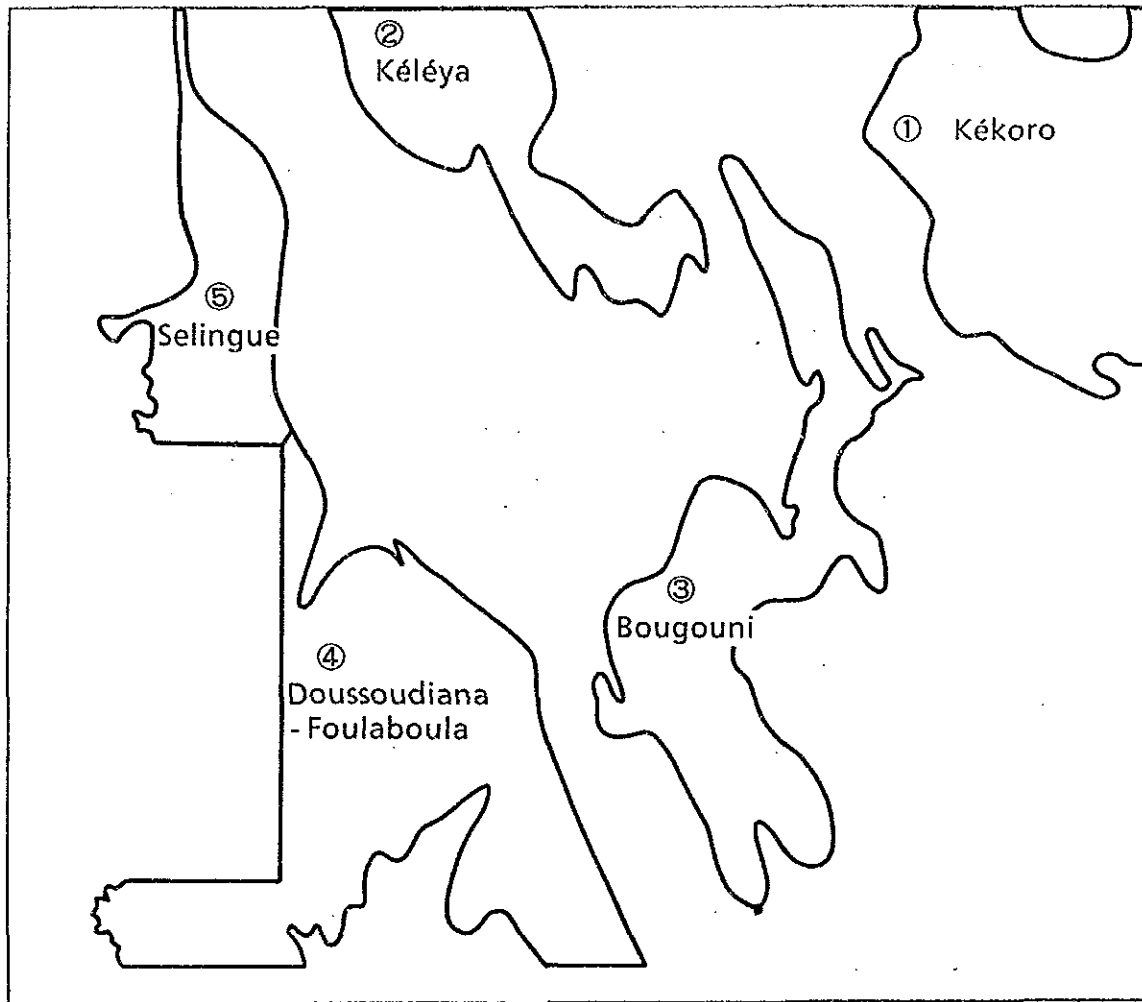


図8 Birrimien累層群分布地区

4.2.2 地化学探査

地化学探査は、地質調査の主目的であるBirrimien累層群の分布の把握のための補助手段として行われた。分析成分は、Au, Ag, Cu, Pb, Zn, As, Sbの7成分である。各指示元素の地化学異常の分布を表4に示す。

地化学異常の分布を見ると、Pbを除くAu, Cu, Zn, Asの地化学異常は、いずれもBirrimien累層群中に分布する。なかでも、AuはBirrimien累層群中で花崗岩体の近傍に分布する傾向が見られる。

表4 地化学異常地区

分析成分	地化学異常地区	地質
Au	Selingue地区, Keleya地区, Dogo周辺 Doussoula地区東方	Birimien累層群と花崗岩類の境界付近のBirimien累層群分布域
Ag	—————	
Cu	Selingue地区, Dogo周辺, Doussoula地区	Birimien累層群分布域
Pb	Bougouni周辺, Keleya地区東南方	花崗岩分布域
Zn	Bougouni周辺, Selingue地区 Doussoula地区東方	Birimien累層群分布域
As	Selingue地区, Keleya地区,	Birimien累層群分布域
Sb	—————	

4.3 鉍徴地調査

鉍徴地調査は、マリ共和国地質鉍山局提示の21箇所の鉍徴地について行われた。鉍徴地は、金銀鉍徴地とリチウム鉍徴地に分けられ、前者はFoulaboula周辺, Selingue周辺, Kekoro西方～南西方に、後者はBougouni南方にそれぞれ分布している。

金銀鉍徴地における既存資料調査、現地調査、各種室内試験結果などのデータを総合的に検討したうえで評価を行った。それらをまとめて地区別に表5・6・7に示す。

表から明らかなように、本地域内では新鉍床発見の期待がもてるSelingue地区の鉍徴地が最も有望と結論される。

リチウム鉍徴地については、既に評価が行われており、リチウム (Li₂O) 16,000トンと推定されている。

表5 Foulaboula地区鉍徴地調査結果一覧表

鉍徴地	位置	鉍化状況	規模・品位	鉍徴地概略	評価
F-1	10° 57' 31" N 8° 10' 24" W	14世紀の砂金鉍床跡 石英転鉍有り	1.7 ×0.5km	地表は広くラテライトに覆われ、地表下5m内外に砂金胚胎層が認められる。その連続性、含金量などは不明。Au地化学異常に対し、UNDPとDNGMがボーリングを実施している。	DNGMにより角礫状石英脈帯について現在評価が行われている。
F-2	10° 55' 48" N 8° 07' 17" W	丘陵地上に石英転鉍有り	?	鉍徴地 F-1 の地下でBirimien層の堆積岩に胚胎する角礫状石英脈帯を4帯捕捉する。	
F-3	10° 58' 29" N 8° 01' 51" W	旧砂金鉍床跡。周辺の丘陵地に石英転鉍有り	?	品位はMax. Au 1.3g/t。	
F-4	10° 56' 52" N 7° 59' 56" W	丘陵地上に石英転鉍有り	?		

表6 Selingue地区鉍微地調査結果一覧表

鉍微地	位置	鉍化状況	規模・品位	鉍石鉍物	鉍微地概略	評価
S-1	11°46'01"N 8°05'25"W	砂金	約200×200m (ピット分布範囲)	—	地表は広くラテライトに覆われ、 地表下10~15mに砂金胚胎層準 が認められる。 その連続性、含金量などは不明 であるが、村民による砂金の採 掘が行われている。本地区では、 現在まで、組織的な探鉍は実施 されていないが、地下でFoula- boula 又はSyanaタイプの鉍床 の存在が期待できる。	採掘可能な砂金鉍床有 り(規模・品位不明)。 今後の探鉍によっては、 新鉍床発見の可能性が 大きい。
S-2	11°45'31"N 8°05'34"W	砂金	20×40m (ピット分布範囲)	—		
S-3	11°42'38"N 8°06'42"W	砂金	約300×300m	—		
S-4	11°44'18"N 8°05'53"W	砂金 村民数10名が採掘中	約200×300m	—		
S-5	11°37'10"N 8°07'56"W	砂金 村民2名が採掘中	?	黄鉄鉍		
S-6	11°38'48"N 8°06'44"W	砂金	約300×300m	針鉄鉍, 磁鉄鉍 磁硫鉄鉍, 黄鉄鉍		
S-7	11°38'31"N 8°07'33"W	砂金 村民数名が採掘中	約300×300m	—		
S-8	11°54'44"N 7°29'38"W	砂金	?	針鉄鉍, 磁鉄鉍 黄鉄鉍		

表7 Kekoro地区鉍微地調査結果一覧表

鉍微地	位置	鉍化状況	規模・品位	鉍石鉍物	鉍微地概略	評価
K-1	11°47'32"N 7°05'37"W	含金アブライト及びアブ ライト中の網状石英脈	幅1m±, 延長200m 幅~10cm	磁硫鉄鉍, 黄鉄鉍 磁硫鉄鉍, スタノグイト	砂金の採掘跡があるが、 現在は行われていない。 Birrimien累層群の堆積 岩類に胚胎する含金アブ ライト(Au 0.0013g/t)有 り。 構造運動により著しく分 断された石英脈有り。	砂金鉍床及び含金アブライト は、経済的価値無し。 石英脈の規模は不明であるが、 高品位は期待できない。
K-2	11°49'09"N 7°04'31"W	石英転鉍帯	100×100m	—		
K-3	11°49'44"N 7°05'27"W	少量の石英転鉍	?	—		
K-4	11°50'44"N 7°05'27"W	石英転鉍帯 石英脈	200×200m 幅5cm, 延長1.5m	—		
K-5	11°50'18"N 7°05'08"W	砂金 石英転鉍帯	?	—		
K-6	11°51'48"N 7°05'20"W	砂金 石英転鉍帯	?	—		
K-7	11°51'04"N 7°03'47"W	石英転鉍帯	100×100m	—		
K-8	11°05'03"N 7°03'47"W	石英転鉍帯	?	—		

第5章 結論及び第2年次調査への提言

5.1 結 論

本調査は、マリ共和国ブグニ地域における鉱物資源開発協力基礎調査の第1年次調査として実施されたもので、衛星画像解析、地質調査、地化学探査及び鉱徴地調査からなる。衛星画像解析、地質調査及び地化学探査は、西アフリカにおける金鉱床胚胎層準であるBirrimien累層群の分布の把握を重点課題とし、鉱徴地調査は既存鉱徴地における鉱況及びその評価を重点課題として行われた。

衛星画像解析、地質調査及び地化学探査の結果、Birrimien累層群の分布が以下の5地区に分布することが確認された。それらは、Kekoro (分布面積 1,200km²)、Keleya (分布面積 700km²)、Bougouni (分布面積 1,100km²)、Selingue (分布面積 600km²) 及びDoussoudiana- Foulaboula (分布面積 1,800km²) の各地区である。その分布面積の総計は約 5,400km²で、調査面積の約40%を占める。

鉱徴地調査の結果、本調査地域には金及びリチウムの鉱化作用が認められた。金は砂金として濃集したもの、含金石英脈及びその網状脈に伴われたもの、アプライトに伴われたものがあり、リチウムはベグマタイトに伴われている。これらの中でも経済的に重要であり、今後更に探鉱を行う必要があると考えられるのは、含金石英脈及びその網状脈に伴われた金の鉱化帯である。このタイプの金の鉱化作用は、本調査地域内のFoulaboula地区で地化学探査の結果得られたAu地化学異常に対し実施されたボーリング調査により確認された。Foulaboula地区は、古くから砂金の採掘が行われていたところで、この金鉱化作用は本地区の砂金鉱床の源と推定される。

一方、本調査地域外ではあるが、本調査地域の中心地Bougouniの南東方約 150kmに、現在高収益で操業中のSyama鉱山がある。Syama鉱床は、13 - 16世紀の砂金採掘跡に対して行われた空中磁気探査、ボーリング調査、地化学探査などの組織的探鉱によって発見された。鉱床は、Birrimien累層群中に胚胎する含金石英網状脈からなる。

このように砂金を端緒として原岩の含金石英脈が発見された例は西アフリカに多く、本調査地域でも、砂金の源と推定される含金石英脈及びその網状脈鉱床がBirrimien累層群中に発見される可能性は高く、なかでも、鉱徴地調査によって最も有望であると結論されたSelingue地区で有望な含金石英脈及びその網状脈鉱床が発見される可能性は非常に大きい。

5.2 第2年次調査への提言

最近の金鉱床の探査は、微量の金を直接の指示元素とする地化学探査を主体とし、これにより多くの鉱山が発見されている。

本調査地域内でも、Foulaboula地区で地化学探査の結果得られたAu地化学異常に対しボーリング調査を実施し、数状の角礫状石英脈帯を捕捉しており、地化学探査の有効性が実証されている。

したがって、第2年次の調査として、既にUNDPにより地化学探査が実施された本調査地域の南端部を除くBirrimien累層群分布域を対象とした広域地化学探査の実施が望まれる。同時に、地質調査によってBirrimien累層群の層序を確立し、金鉱床胚胎層準を把握する必要がある。

Foulaboula地区については、現在ボーリングコアの分析が行われており、その結果によっては、地下深部の鉱化帯の広がりを確認するために物理探査などの更に進んだ調査の実施が必要であろう。

第II部 各論

第II部 各 論

第1章 衛星画像解析

1.1 使用データ、画像作成及び現地調査

1.1.1 使用データ

本調査の画像作成に使用したデータは、米国NASAが打ち上げた地球観測衛星ランドサット4号によって得られた2シーンのTMデータである。画像データの諸元及びその範囲の位置関係を表8及び図9にそれぞれ示す。

表8 画像データの諸元

SATELITE	PATH	ROW	DATE	SCENE-CENTER-POINT	SCENE ID
LANDSAT 4	199	052	4 JAN. 1991	N11° 34' 00' W 8° 05' 00'	4308710095
LANDSAT 4	198	052	28 DEC. 1990	N11° 34' 00' W 6° 32' 00'	4309410154

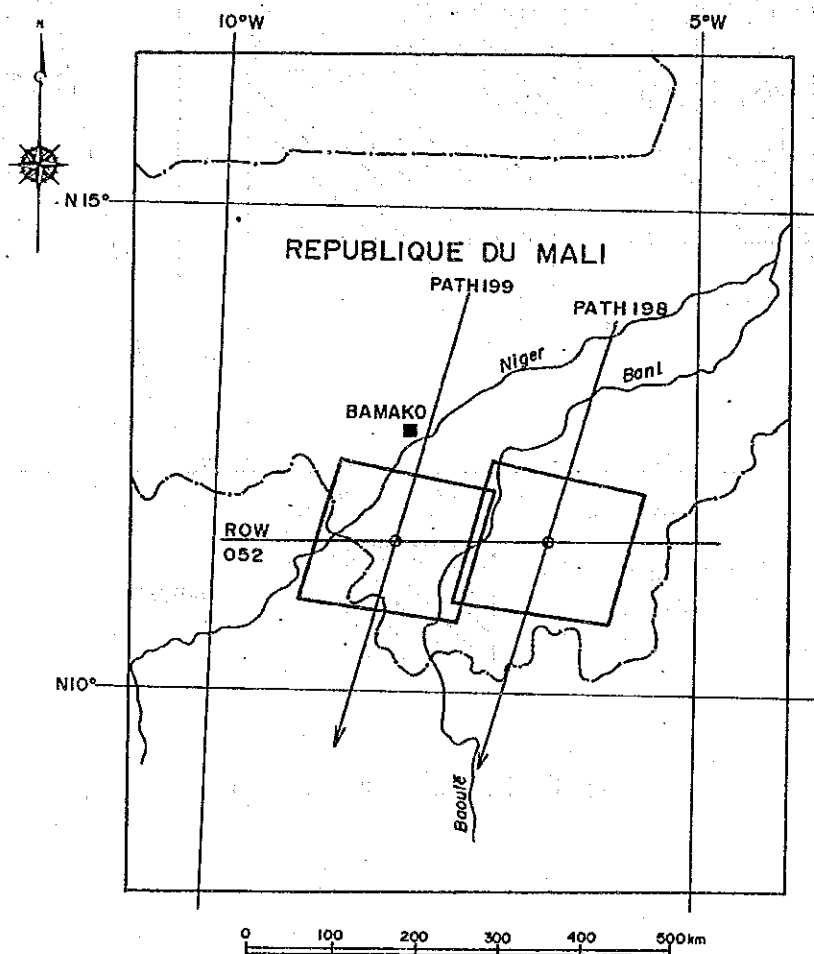
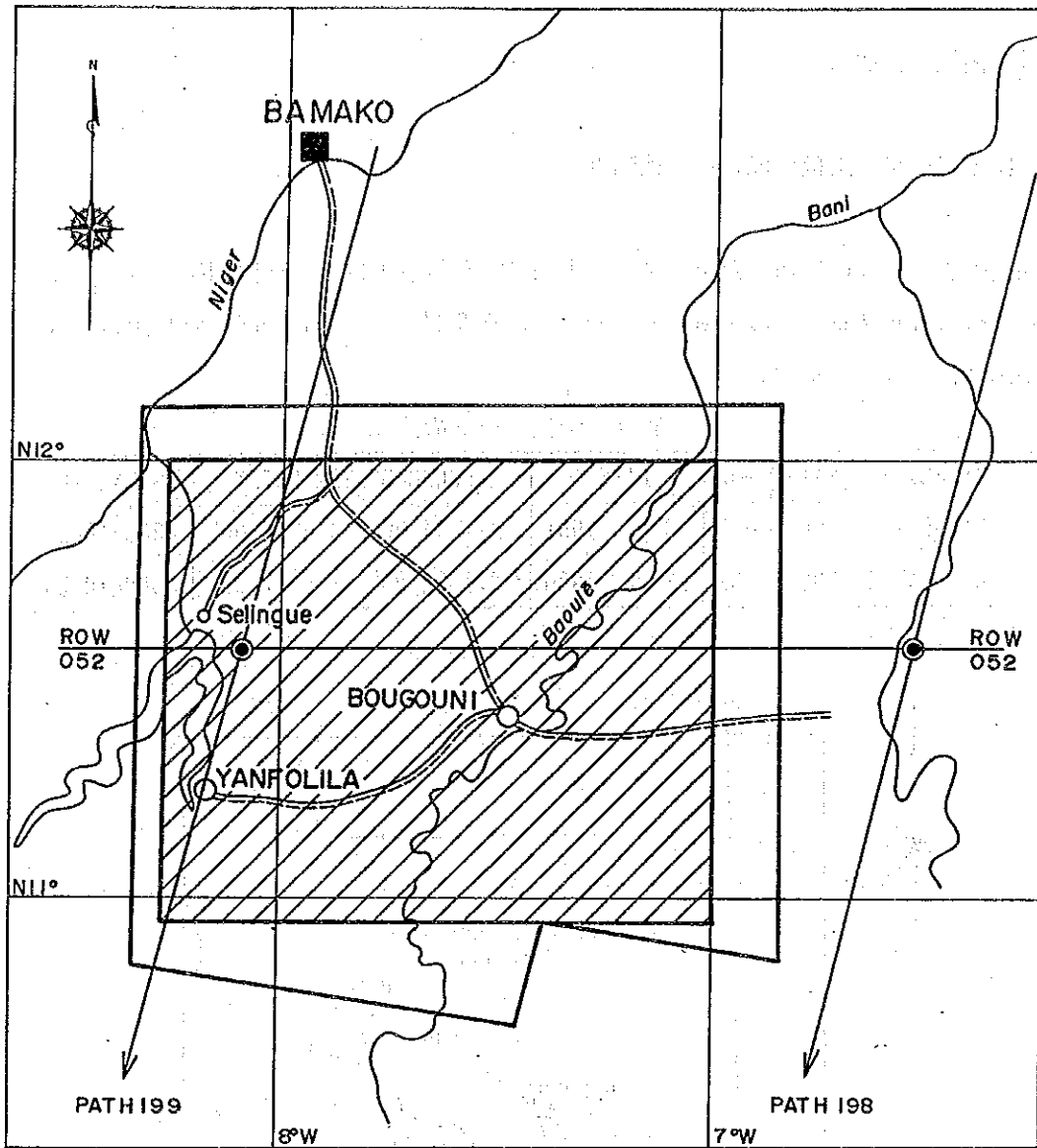


図9 画像位置図



Region du L'image
de LANDSAT



Region analysée

图10 解析範圍图

1.1.2 画像作成

上記2シーンのCCT(Computer Compatible Tape)を用いてデジタルモザイク合成を行い、各種の画像を作成した。地質解析には、これらのうちで最も情報量が多いと判断された以下の2種の画像プリントを使用した。図10に解析範囲を示す。

① フォールスカラー画像 (バンド2, 3, 4/BGR) 縮尺20万分の1

② 主成分圧縮処理画像 (PC1・2, PC1・3, PC1・4/BGR) 縮尺20万分の1

主成分分析処理は、データ圧縮処理方法のひとつの手法であり、単一画像上に多くのデータを集約できる利点をもつ。主成分圧縮処理は、この主成分分析処理をさらに発展させた手法であり、本処理により4つの主成分を単一画像上に表現することができる。

主成分圧縮の処理手順は、以下のとおりである。

① 通常の主成分分析処理により、各主成分画像を作成する。

② 次式により各主成分の圧縮処理を行う。

$$CPC_{n-1}(x, y) = PC1(x, y) * PCn(x, y) \quad \text{但し, } n=2, \dots, 6$$

CPC_{n-1} : (x, y)における第n-1主成分圧縮データ

$PC1$: (x, y)における第1主成分データ

PCn : (x, y)における第n主成分データ

③ 3つの主成分圧縮データ(CPC_{n-1})に青, 緑, 赤を割り当てる。

今回の処理では、第1主成分から第4主成分までの4つの主成分データを用い、第1, 第2, 第3の各圧縮データにB, G, Rを割り当てた画像を作成した。この処理によって、オリジナルデータの99.9%を単一画像上に表現できた。図11にフォールスカラー画像を、図12に主成分圧縮処理画像を示す。

1.1.3 現地調査

現地調査前の予察調査として、フォールスカラー画像による概略的な画像ユニットの区分を行った。さらに、主成分分析画像の各成分についてバンド成分を検討し、フォールスカラー画像と主成分圧縮処理画像の対応関係からみた現況評価を行った。これと並行してリニアメントなどの構造パターンを抽出し、既存鉱徴地との関連について予察した。

現地調査では、予察調査で区分した各画像ユニット及びリニアメントのグランドトールースを地質調査と並行して行った。グランドトールースでは、予め区分した各画像ユニットの代表的地点で、現地の地質状況をできるだけ詳細に観察し、判読された画像ユニットと地質の対比を行った。

以上の結果を地質調査結果と併せて総合的に解析し、調査地域の地質構造と鉱床賦存状況について考察した。

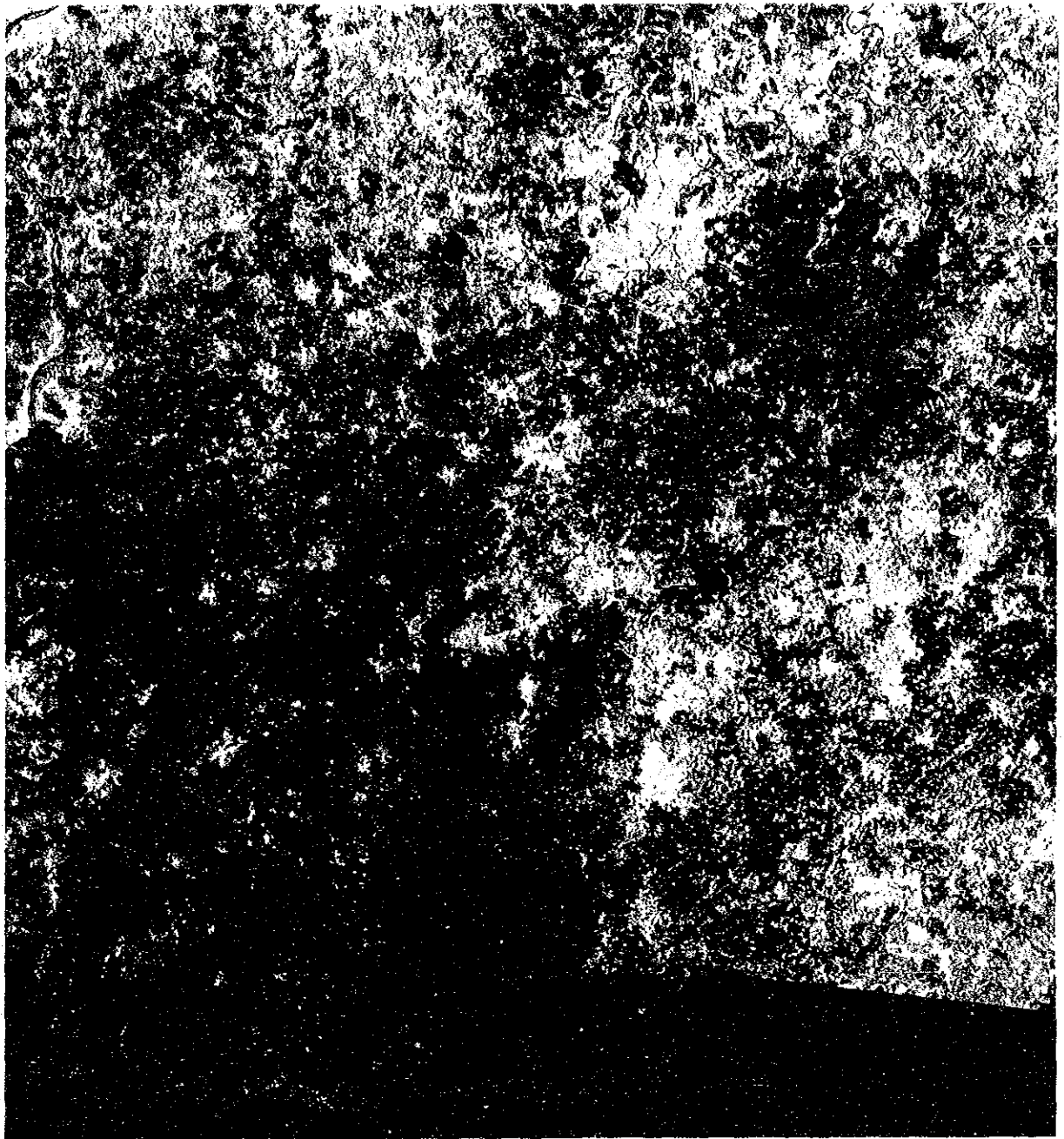


図 11 フォールスカラー画像

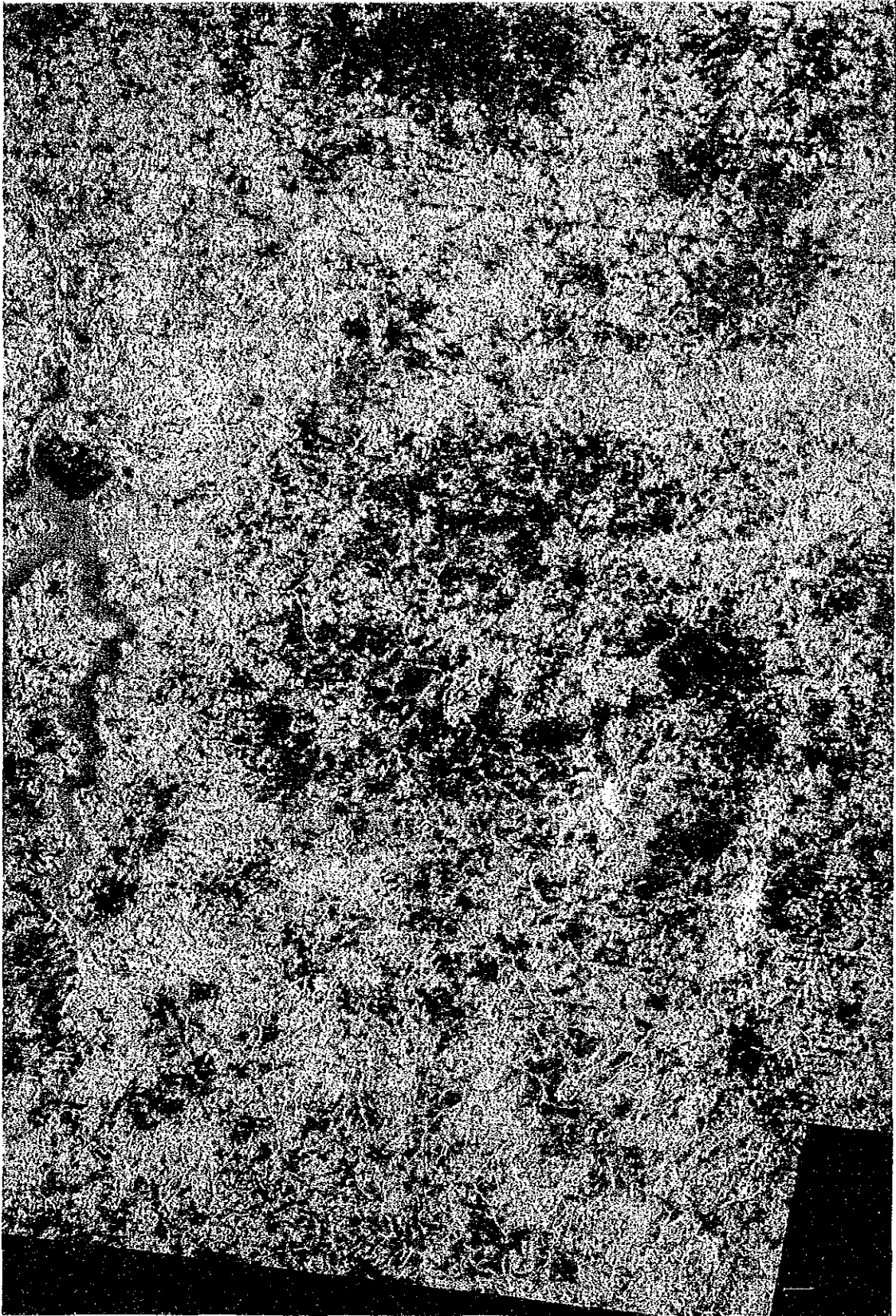


图 12 主成分压缩处理画像

1.2 解析及び調査結果

1.2.1 岩相区分

(1) フォールスカラー画像

フォールスカラー画像による画像ユニットの区分を行った。画像ユニットは、色調、明るさ、きめなどに基づいて区分され、その結果、画像ユニットa～hの8ユニットに区分された。

(a) 画像ユニットa (風化火山岩)

フォールスカラー画像上では、極めて明るい黄褐色を示す。分布はKekoro周辺に限られる。水系は密に発達し、突出した環状の山稜地形を形成する。本画像中で唯一の露岩地質情報を含む画像ユニットである。現地調査によって、粗粒玄武岩、安山岩などの火山岩が露出していることが確認された。表面は緑灰色に風化している。アルベドが高いのは、板状節理によって崩壊した岩片が地表を覆っているためである。

(b) 画像ユニットb (非花崗岩質土壌)

フォールスカラー画像上では、やや暗い帯緑灰色を示し、他の画像ユニットに比べて滑らかなきめを示す。植生の多い地域では判読は困難であるが、植生の比較的薄い部分を詳細に観察することによって分布を確定することが可能である。現地調査により、この画像ユニットの地帯に基盤岩の小礫を多く含む黄灰色のシルト質土壌が分布することが判った。

(c) 画像ユニットc (花崗岩質土壌)

フォールスカラー画像上では、やや明るい帯桃灰色を示し、画像ユニットf (後述) に類似するがこれに比べてやや粗いきめを示す。植生の多い地域では判読は困難である。画像ユニットfとの境界は不明瞭である。現地調査によって、花崗岩起源と思われる石英と雲母の多いアルベドの高い砂層が地表を薄く覆っていることが分かった。これは一種の風成砂であると判断されるため、その存在が基盤花崗岩にそのまま対応しているとは限らないと思われる。

(d) 画像ユニットd (ラテライト)

フォールスカラー画像上では、暗い濃緑色を示し、他のユニットとの区別は容易であるが、ユニットの輪郭は不明瞭である。本調査地域のほぼ全域に分布するが、本調査地域の中部に多く分布する。現地調査によって、硬質のラテライト質土壌殻が丘陵状地形の頂部に露出していることが判った。原岩によるラテライトの色相の違いは認められなかった。

(e) 画像ユニットe (活動的植生、森林)

フォールスカラー画像上では、やや暗い濃赤色を示す。Baoule川沿いに北西部から南西部にかけての広い地域に分布する。画像ユニットcとは境界が漸移的である。現地調査によって、きわたの木、マンゴの木、バオバブの木などの比較的緑の濃い高木が密に繁茂していることが判った。

(f) 画像ユニットf (非活動的植生)

フォールスカラー画像上では、やや明るい淡赤色を示す。本調査地域のほぼ全域に分布し、画像ユニットe・fと分布が重なっていることが多い。現地調査によって、高さ1m以下の黄灰色に

枯れた禾本科植物が地表を覆っていることが分かった。

(g) 画像ユニットg (都市建造物, 空白地)

フォールスカラー画像上では、オーバートーンにより極めて明るい白色を示し、他のユニットとの境界は明瞭である。人工建造物（主に日干し煉瓦で作られている）は、人工的なパターンを形成しているため判別は容易である。一方、画像のほぼ全域に分布し、白色のスポット状に散在する空白地については、現地調査により、蟻塚が密集し特殊な空地であることが分かった。

(h) 画像ユニットh (焼畑)

フォールスカラー画像上では、アンダートーンにより極めて暗い黒色を示す。画像ユニットeと分布が重なることが多い。現地調査によれば、焼畑は調査地域のほぼ全域で行われており、地表の大部分は古い焼畑による炭質物で覆われている。画像上で明瞭に区別されるのは、比較的新しい時期のものである。理由は不明であるが、ラテライト地域では、焼畑による農業が特に頻繁に行われているようである。

(2) 主成分圧縮処理画像

(a) 各主成分の解釈

表9にモザイク合成シーンの主成分分析統計値一覧表を示す。

表9 主成分分析統計値一覧表

	PC-1	PC-2	PC-3	PC-4	PC-5	PC-6
EIGEN VALIES	2748.38	92.38	35.59	11.45	2.42	0.68
CONTRIBUTIONS (%)	95.1	3.2	1.2	0.4	0.1	0.0
EIGEN VECTORS						
TM-1	0.571	0.257	0.313	0.338	0.561	0.285
TM-2	0.695	0.268	0.071	-0.174	-0.618	-0.235
TM-3	0.216	-0.340	-0.346	0.406	0.243	-0.703
TM-4	0.371	-0.448	-0.458	-0.535	0.238	0.330
TM-5	0.059	-0.214	-0.335	0.636	-0.417	0.510
TM-7	0.054	-0.727	0.674	0.023	-0.117	0.009

主成分の解釈にあたっては、各々の固有ベクトル特性及び画像上の分布を考慮し可能な限り現地調査によって確認をした。

第1主成分 バンド特性では、可視光域に強い反射がある。第1主成分の高輝度部は、ほぼ全域に分布し、直径500m程度のスポット状の形状を示す。都市と集落の周辺に分布の集中が認められる。現地調査の結果、樹木の伐採による空白地であることがわかった。また、都市の建築物も同時に含まれていると思われる。

第2主成分 バンド特性では、可視光域（バンド1・2）に反射がありバンド3から赤外域は

ほとんど吸収している。第2主成分の高輝度部は、河川沿いに分布するほか、南部では直径10km以下の不定形のやや広い範囲を占めて分布している。現地調査の結果、樹林帯の植生であるが、乾期のためにほとんど枯れている地域であることが判った。

第3主成分 バンド特性では、可視光域（バンド1）とバンド7にやや強い反射がある。第3主成分の高輝度部は、北部と東部におもに分布し、広い平坦地を形成している。現地調査の結果、植生のほとんどない平原であり、土壌が露出していることが判った。

第4主成分 バンド特性では、5バンドにやや強い反射がある。第4主成分の高輝度部は、全域に見られるが中央部と南東部に集中して広く分布している。河川に分断されて不定形の形状を示すが、基本的には連続しており広い台地を形成している。現地調査の結果、ラテライト台地であることが判った。

第5主成分 バンド特性では、バンド3とバンド5に強い吸収があり、活動的な植生を表していると思われる。第5主成分の高輝度部は、第2と第3主成分に重複関連して分布する。

第6主成分 バンド特性では、バンド3に強い吸収があり、植生関連と思われるが、詳しくは判らない。第6主成分の高輝度部は、全域に散在している。

表10に各主成分の評価一覧表を示す。

表10 主成分評価一覧表

主成分	分 布	形 状	評 価
1	全域、	スポット状の集合	空白地、建築物
2	河川沿い、南部に多い	曲線状、不定形	植生
3	北部、東部に多い	広い平面状	土壌
4	中部に多い	狭い不定形の集合	ラテライト
5	北部と南部に多い	曲線状、不定形	植生
6	全域	スポット状	不明、植生関連？

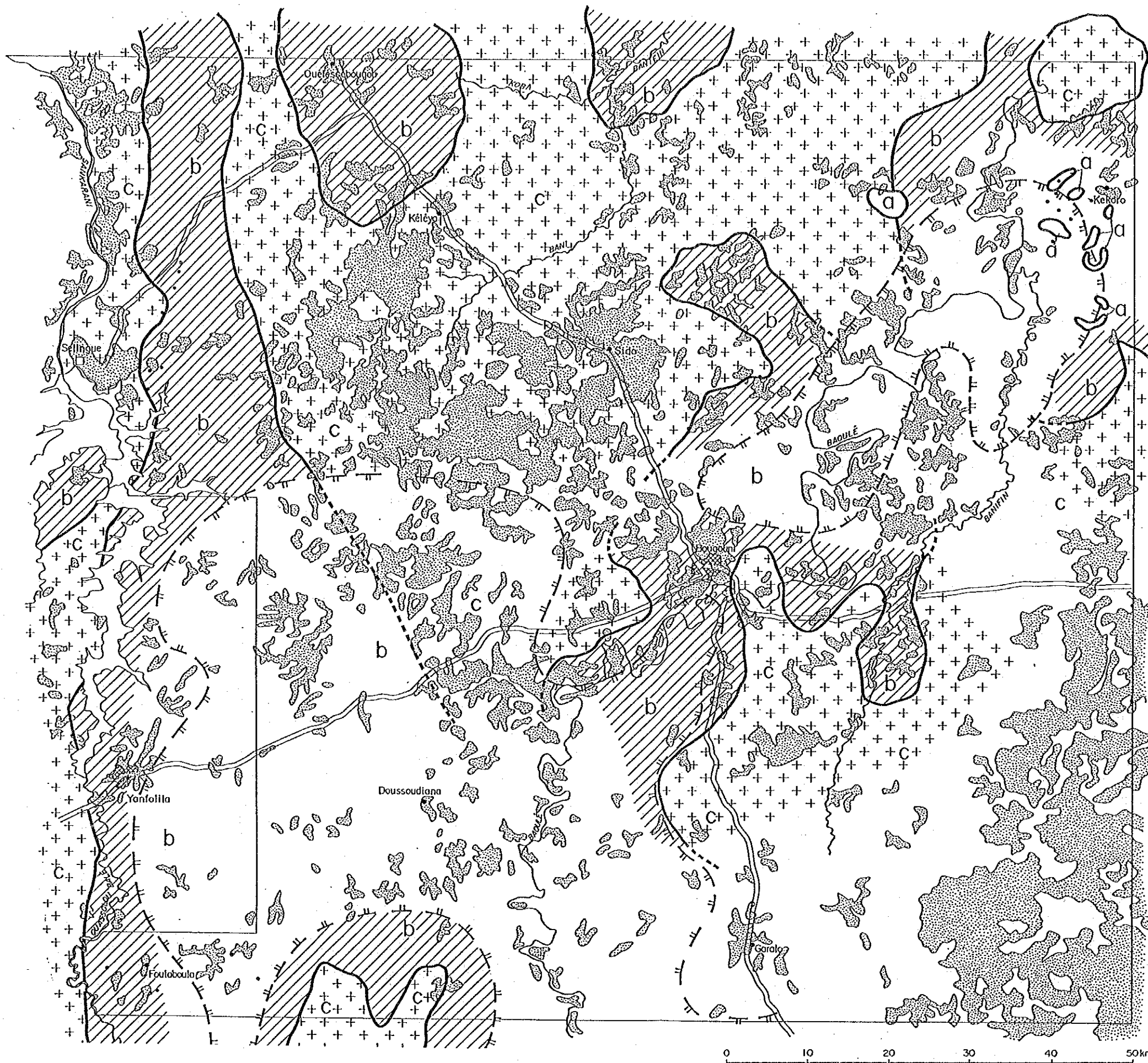
(d) 圧縮主成分の分布及び解釈

各圧縮主成分の分布をみると、第1・2圧縮主成分の分布は第2主成分の分布に、第1・3圧縮主成分の分布は第3主成分の分布に、第1・4圧縮主成分の分布は第4主成分の分布にそれぞれ一致している。

したがって、各圧縮主成分は次のように解釈される。

第1・2圧縮主成分 主成分圧縮処理画像では明るい黄色に表現されている。空白地、建築物などを表す成分と解釈される。

第1・3圧縮主成分 主成分圧縮処理画像では緑色に表現されている。地域的な色調の変化が認められる。植生を表す成分と解釈される。



凡例/LÉGENDE









-  ユニットa: 風化火山岩
-  ユニットb: 非花崗質土壌
-  ユニットc: 花崗質土壌
-  ユニット境界 (a, b, c)
-  ユニットd: ラテライト
-  ユニット境界 (e: 活動的隕生
f: 非活動的隕生)
-  ユニットg: 都市建築物
-  孤 嶺 地

图13 岩相区分图

第1・4圧縮主成分 主成分圧縮処理画像では濃い赤紫色に表現されている。土壌を表す成分と解釈される。

(e) 各圧縮主成分とフォールスカラー画像ユニットとの対比

各圧縮主成分についてフォールスカラー画像との対比を試みた。

第1・2圧縮主成分 フォールスカラー画像では暗赤色に見える部分に一致し、画像ユニット e に相当する。

第1・3圧縮主成分 フォールスカラー画像では灰色に見えている部分に一致し、画像ユニット b・c に相当する。

第1・4圧縮主成分 フォールスカラー画像では緑灰色に見える部分に一致し、画像ユニット d に相当する。

(f) 総合画像判読ユニット

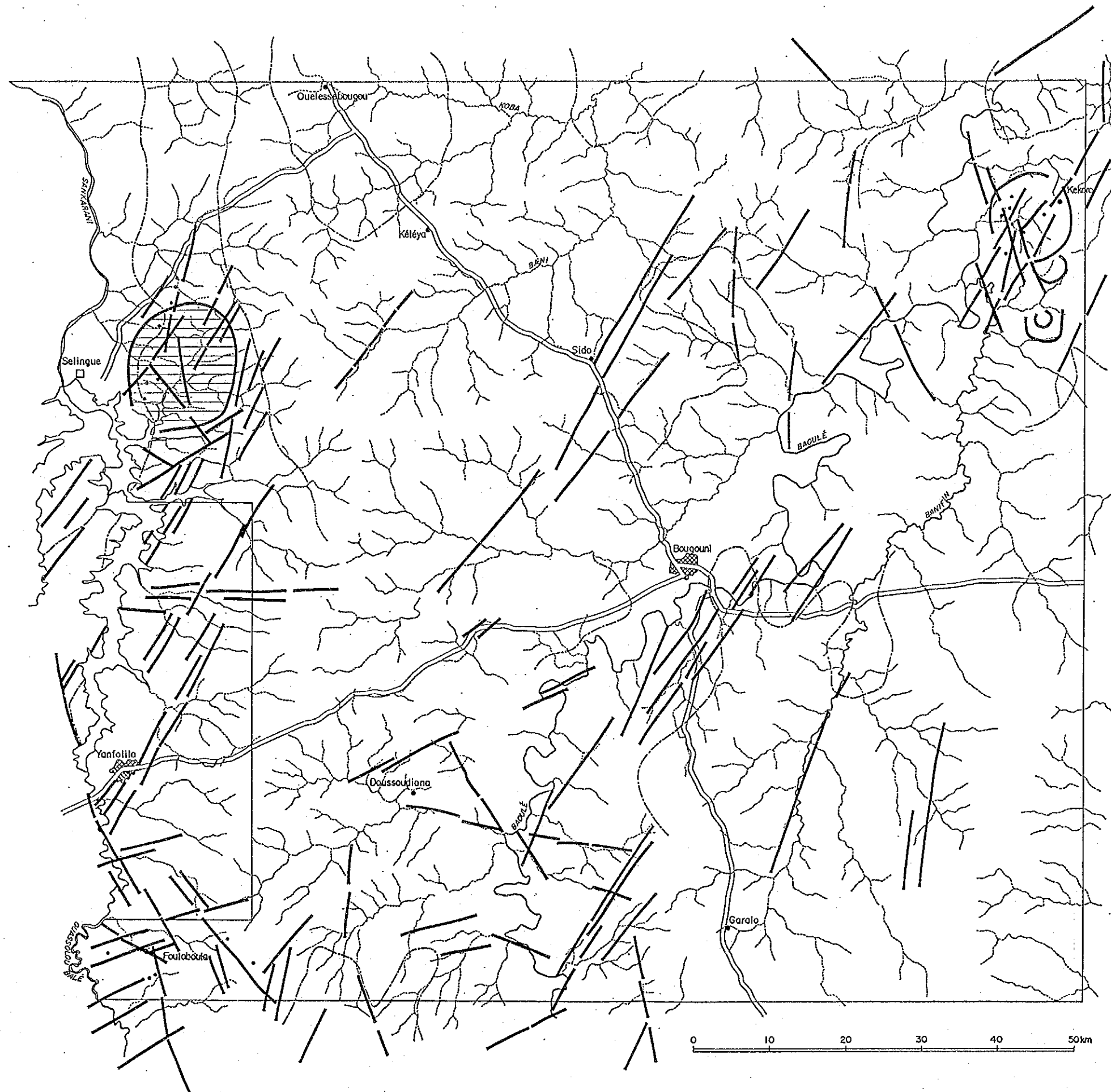
各圧縮主成分とフォールスカラー画像ユニットとの対比の結果、各圧縮主成分はフォールスカラー画像ユニットに全て含まれる。したがって、総合画像判読ユニットとして、表10に示す画像ユニットを取り上げた。表11に画像判読ユニット一覧表を、図13に画像ユニットによる岩相区分図を示す。

表11 画像判読ユニット一覧表

ユニット	色 調	明 度	き め	評 価
a	黄 褐 色	極明るい	細かい	風化火山岩
b	帯緑灰色	やや暗い	粗い	非花崗岩質土壌
c	帯桃灰色	明るい	細かい	花崗岩質土壌
d	濃緑灰色	暗い	細かい	ラテライト
e	濃 赤 色	やや暗い	細かい	活動的植生
f	淡 赤 色	明るい	細かい	非活動的植生
g	白 色	極明るい	粗い	都市建造物, 空白地
h	黒 色	極暗い	粗い	焼畑地

1.2.2 地質構造

本調査地域は、断層及びリニアメントの発達に乏しく、本地域の地質構造全体を支配するような規模の断裂は認められない。本調査地域で判読された構造パターン要素一覧表を表12に、地質構造解析図を図14に示す。



凡例/LÉGENDE

構造パターン




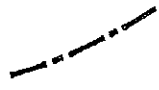
- α:  リニアメント
- β:  サークル
- γ:  水系異常
-  岩相区分境界
(衛星画像による)

図14 地質構造解析図

表12 構造パターン要素一覧表

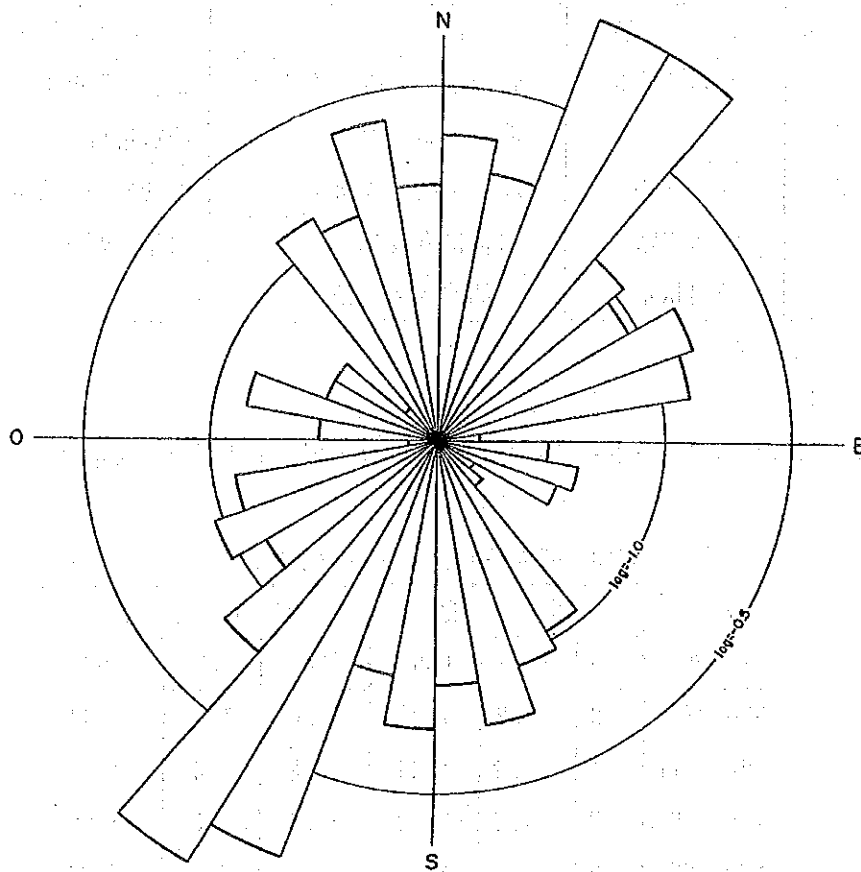
要素	名称	特徴	推定地質構造
α	リニアメント	直線水系, 直線的色差 地形的急変部	断層, 破碎帯, 節理 地質境界
β	サークル	環状山稜, 環状水系	環状岩脈, カルデラ構造
γ	水系異常 放射状水系	水系密度変化 差別的構造運動	岩相岩質変化

(1) リニアメント

表13に各方位別のリニアメント集計表を, 図15にローズダイアグラムを示す。

表13 各方位別リニアメント集計表

方位	頻 度			延 長 距 離		
	FROM TO	n	n%	LOG	km	n%
W90 W81	2	1.2	-1.93	14.0	1.1	-1.97
W80 W71	4	2.3	-1.63	18.8	1.4	-1.84
W70 W61	2	1.2	-1.93	16.4	3.0	-1.90
W60 W51	2	1.2	-1.93	7.6	0.6	-2.24
W50 W41	1	0.6	-2.24	8.8	0.7	-2.17
W40 W31	7	4.1	-1.39	37.6	2.9	-1.54
W30 W21	6	3.5	-1.46	45.6	3.5	-1.46
W20 W11	13	7.6	-1.12	72.4	5.5	-1.26
W10 W01	7	4.1	-1.39	48.2	3.7	-1.43
0 E10	11	6.4	-1.19	72.2	5.5	-1.26
E11 E20	8	4.7	-1.33	45.8	3.5	-1.46
E21 E30	41	23.8	-0.62	297.8	22.7	-0.64
E31 E40	41	23.8	-0.62	444.8	33.9	-0.47
E41 E50	6	3.5	-1.46	63.8	4.9	-1.31
E51 E60	5	2.9	-1.54	31.6	2.4	-1.62
E61 E70	8	4.7	-1.33	44.6	3.4	-1.47
E71 E80	7	4.1	-1.39	34.0	2.6	-1.59
E81 E90	1	0.6	-2.24	6.8	0.5	-2.29
TOTAL	172	100.0		1310.8	100.0	



Nombre de data: 172
 Longueur total de linéament (km): 1,310.8

La hémisphère nord : fréquence de linéament
 log (%)
 La hémisphère sud : longueur de linéament
 log (%)

図15 ローズダイアグラム

ローズダイアグラムでは、北半円にリニアメントの頻度、南半円に総延長を表示してある。

リニアメントの密度は、地区によって大きく異なり、Selingue, Foulaboula, Bougouni周辺及びKekoro周辺の4地区で特に密度が高い。

リニアメントは、大部分がBirrimien累層群の分布域で判読される。

リニアメントの方位は、NE-SW方向に強い集中を示し、ほぼ本調査地域の全域に発達する。上記のリニアメント密度が高い地域では、NNW-SSE方向がNE-SW方向に相伴って出現し、これを断裂系とした場合、見掛上は共役的關係にある。

現地調査では、露出が乏しいためにリニアメントの実態を把握することはできなかったが、リニアメント地点では、しばしば地形的段差や直線的な窪地が観察された。

(b) 環状構造

Kekoro地域では、直径10km程度の環状構造が見られ、これらは環状のリニアメント、水系などからなる。現地調査では、ドレライトから石英安山岩に岩質が変化する環状岩脈が見出された。Kekoro地区にはリニアメントの集中が認められるが、環状構造はこれらのリニアメントによって乱されていない。

(c) 水系異常

Selingue地区では、水系密度が高く、放射状に収束する直径15kmのほぼ円形の水系異常地区が認められる。この地区は地形の起伏も多く、周辺に比較して異なった地質条件をもつものと推定される。Selingue地区は、今回の調査では十分な現地調査は行えなかったが、突出した山稜と深い河川侵食が特徴的であり、これらは比較的新しい時代の隆起運動によって形成されたものと考えられる。

1.3 考察

(1) 岩相区分

地質岩相区分のためにフォールスカラー画像及び主成分圧縮処理画像による検討を行ったが、次のような障害条件があり十分に明らかになったとは言えない。

- ① 岩石の露出が少ない
- ② 植生の被覆が多い
- ③ ラテライト殻の被覆が多い
- ④ 地形が平坦である

地下地質の情報としては土壌の色相区分が1つの手段であり、本調査の課題である。

フォールスカラー画像では、土壌分布地域に僅かな色相と明度の差が認められ、花崗岩源土壌と非花崗岩源土壌として区分した。現地調査によって花崗岩源の土壌は石英に富み明るい灰色を示すのに対して、Birrimien累層群源の土壌は石英含有量が少なく、暗い褐灰色を示すことが確かめられた。フォールスカラー画像によって作成した岩相区分は、現地調査による地質区分と大局的には対応しているものの、一般に数kmから20km程度のずれがある。この理由としては、表層土壌が現地性ではなく、水流や風によって運搬されて堆積していることが考えられる。

(2) リニアメント

Bougouni周辺地区では、Birrimien累層群の片岩構造は、リニアメントの方向に概ね一致する。一方、Selingue地区とKekoro周辺地区では、リニアメント方位はこれと大きく斜交している。したがって、Birrimien累層群の地質構造が全てリニアメントとして現れているとは必ずしも言えない。しかしながら、リニアメントの大部分がBirrimien累層群の分布域で判読され、地質との関連が明らかである。花崗岩地域にリニアメントが少ないことの説明には次の2つの可能性が推定できる。

① 花崗岩は、ラテライト化などの風化作用によって均質化し、花崗岩の構造が地表付近で消去されている。リニアメントの分布は風化に対する抵抗性の違いを表現している。

② リニアメントは、花崗岩併入時の構造運動によってBirrimien累層群中に生じた断裂系を表現している。

リニアメントの方向は、NE-SW方向の集中が顕著であり、この方向が本地域の支配的な断裂系であると推定される。

(3) リニアメントと鉱徴地との関係

鉱徴地調査で鉱徴が認められた3地区については、衛星画像上で以下のような現象が認められた。

① Foulaboula地区：NW-SE方向とENE-WSW方向のリニアメントの集中が認められる。

② Selingue地区：楕円形の水系異常域が認められる。鉱徴地のほとんどがこの内部に分布しNNE-SSW方向のリニアメントに沿って直線状に配列している。

③ Kekoro地区：環状のリニアメントと環状の火成岩体があり、鉱徴地は全てこの内部に分布する。

第2章 地質調査・地化学探査

2.1 調査方法

調査地域（面積14,000km²）において、主要道路沿いのルート及び既存地質図におけるBirrimien累層群と花崗岩類との境界を横断するルートを選定し地質調査及び地化学探査を行った。調査に当たっては、日本人1名とカウンターパート1名からなる調査班を4班編成した。

地質調査の際に、ルート上に出現する露頭や転石の観察・記載を行うと同時に、ラテライト中の礫種や石英礫の有無に留意し地層の区分に努めた。この際に必要に応じて室内試験用の試料を採取した。これらの観察事項・試料採取位置などを縮尺1:50,000の地形図上に記載した。

地化学探査は、地質調査と並行して行われた。対象とした試料は土壌で、通常地表下30~50cmから採取されたが、いくつかの試料は蟻塚から採取された。試料採取間隔は、500m又は1kmで、車のトリップメーターを参考にして採取位置を決定した。

2.2 地質調査

2.2.1 文献調査

本調査地域に関する地質図幅として以下のものが入手できた。これらのうち、1)と2)には説明書が付属している。

- 1) GOLOUBINOW R. (1950): Carte geologique de reconnaissance Bougouni-Ouest 1:500,000
- 2) DNGM/BRDM (1980) : Carte geologique de la Republique du Mali 1:1,500,000
- 3) DNGM (1987) : Carte photogeologique du Mali occidental 1:200,000 Yanfolila
- 4) DNGM (1988) : Carte photogeologique du Mali occidental 1:200,000 Bougouni
- 5) SPINDLER J.P. (1952): Rapport geologique de Fin de Campagne 1950-51 (Feuilles Bougouni-Est)

また、本調査地域の地質・鉱産資源に関する報文には以下のものがある。

- 6) BRGM (1973) : Recherches Geologiques et Minieres dans la Region de Bougouni Sikasso-Yanfolila

マリ全体の地質及び鉱物資源の概要は次の報文にまとめられている。

- 7) UNDP (1987) : Ressources Minerales du Mali

2.2.2 地質概要

本調査地域は、西アフリカ剛塊の地質区分上、Baoule - Mossi地質区に位置する。

本調査地域は、主に先カンブリア時代の火山岩類及び堆積岩類と花崗岩類からなり、中生代の貫入岩類が分布している。これらを覆って、地表部にラテライト、砂〜シルトなどが広く分布し、河川沿いには河川堆積物が分布している。

表 14 Bougouni 地域周辺の層序対比表

Ghana	Côte d'Ivoire	Burkina Faso (Zone de roche verte)	Mali (Région de Bougouni)
Cahen L. et al (1984)	Cahen L. et al (1984)	Boromo et Hundé) Daniel H et al (1987)	Nations Unies (1987)
Formation Huni (quartzite et phyllite) Formation Tarkwa (phyllite) Formation Banket (quartzite et conglomérat) Formation Kewese (conglomérat)	Granites Windéné et Granites Boudoukou Série de Kinkéné	Tarkwaïen	Mesozoïque Dolérite Intrusives
(C. 2030 Ma)	Granite Baoulé	Eburnian (1800~2000 Ma)	Tarkwaïen? Granites (post-tectonique) L'orogénèse éburnéenne (paroxysme vers 1950 ± 100 Ma) Granites (syntectonique)
Granites syntectoniques et intrusive	Formation volcano-clastique de Louga = Séries de Inahiri	Roches de sédimentaire clastique Discordance	Birimien supérieur (essentiellement sédimentaire) schistes, grès arkosiques et granwackes
Formation de basique volcanique Formation de acide volcanique Formation de volcano-pasammité	Formation volcano-clastique de Louga = Séries de Inahiri	Tonalites, Granites (2100 Ma ~ 2200 Ma)	Birimien inférieur (prédominance volcanique) méta-basaltes, andésites, tuffs, jaspers
Discordance	Eburnian I	Formation volcano-sédimentaire	
(C. 2130 Ma)	Granites orthogneiss Formation Flysh de Kounoukou et Doulayeko paragneiss	Volcanique acide (calco-alkaline)	
Formation supérieure et sableux (Flysh psammitique) Formation supérieure et argilitieux (Flysh argilitieux)		volcanique neutre-mafique	
Formation moyenne et sableux (Flysh psammitique-argilitieux) Formation inférieure et argilitieux		volcanique mafique (tholéïte)	
Formation inférieure et sableux		volcanique ultrabasique	
		Liberian	
	Granite gneissieux de Niéga-Pauli Plage paragneiss Monogaga	Granites, Migmatite, Roche ultrabasique, Gramulite	(± 2700 Ma)



LEGENDE

- Alluvions récent
- ROCHE INTRUSIVE**
- Dolerite
- GRANITES POST-TECTONIQUES**
- Granites
- GRANITES SYNTECTONIQUES**
- Diorites (à amphibole et localement biotite)
- Granites (à muscovite ou à deux-micas)
- Granites (à biotite et localement amphibole) et Granodiorites
- GROUPE BIRIMIEN**
- Gabbros
- Schistes lutifères
- Schistes argileux
- Schistes gréseux et grès (arkoses, quartzites, grauwakes)
- Amphibolites
- SIGNES CONVENTIONNELS**
- Linéament
- Direction et pendage de filons
- (Q: quartz; n: pegmatite, (mètres): large de filons)
- Direction et pendage de schistosité
- Direction de schistosité, pendage vertical
- La ligne de section
- Direction des schistosité
- Linéament
- Tectonique circulaire
- Indice minéralis

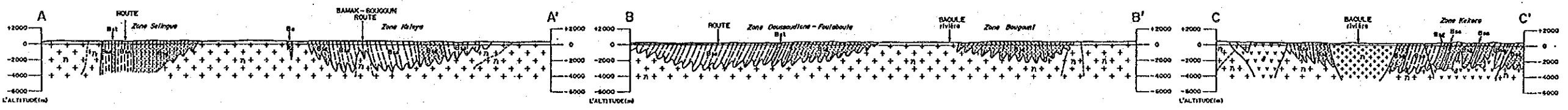


图 16 地質概略図及び地質概略断面図

本調査地域の先カンブリア時代の火山岩類及び堆積岩類は、ガーナのBirrim Valley を模式地とするBirrimien累層群に対比される(表14)。

Birrimien累層群は、泥質片岩と砂質片岩を主体として、珪質片岩や凝灰質片岩を伴っている。また、19.5±1億年頃を最盛期とするエブルニア造山による褶曲・変成作用を受けており、ホルンフェルス、角閃岩、電気石岩などの変成岩類が一部に認められる。

花崗岩類には、大きいバソリスを形成し片状組織を示すものと、小規模な楕円状岩体を形成し、片状組織を伴わないものがあり、それぞれ、造山期花崗岩、後造山期花崗岩として区分されている。

造山期花崗岩は、黒雲母花崗岩、花崗閃緑岩、白雲母花崗岩、両雲母花崗岩、閃緑岩などからなり、このうち黒雲母花崗岩～花崗閃緑岩が広く分布する。

後造山期花崗岩は、アルカリ花崗岩、カルクアルカリ花崗岩、閃長岩、石英閃緑岩、マイクロ花崗岩、流紋岩などからなる。

ドレライトがBirrimien累層群や花崗岩類中に貫入しているほか、ペグマタイト、アプライトなども認められる。ドレライトは中生代の時期のものとされている。

Birrimien累層群と花崗岩類にみられる片理は、N-S方向が卓越している。

本調査地域の地質概略図及び地質概略断面図を図16に、地質模式層序図を図17に示す。

2.2.3 Birrimien累層群

(1) 研究史

本調査地域のBirrimien累層群の研究は、Goloubinow (1950)のBougouni西方の報告とSpindler (1952)のBougouni東方の報告に始まるが、その後のいくつかの研究は、UNDP(1987)によってまとめられている。それによると、マリ共和国南部に分布するBirrimien累層群は、火山岩及び火山砕屑岩(玄武岩・安山岩、凝灰岩)を主とする下部Birrimien累層群と、堆積岩(片岩、アルコーズ砂岩、グレイワッケ)を主とする上部Birrimien累層群に区分される。本調査地域に分布するBirrimien累層群は、岩相から判断して、上部Birrimien累層群に相当するものと思われる。

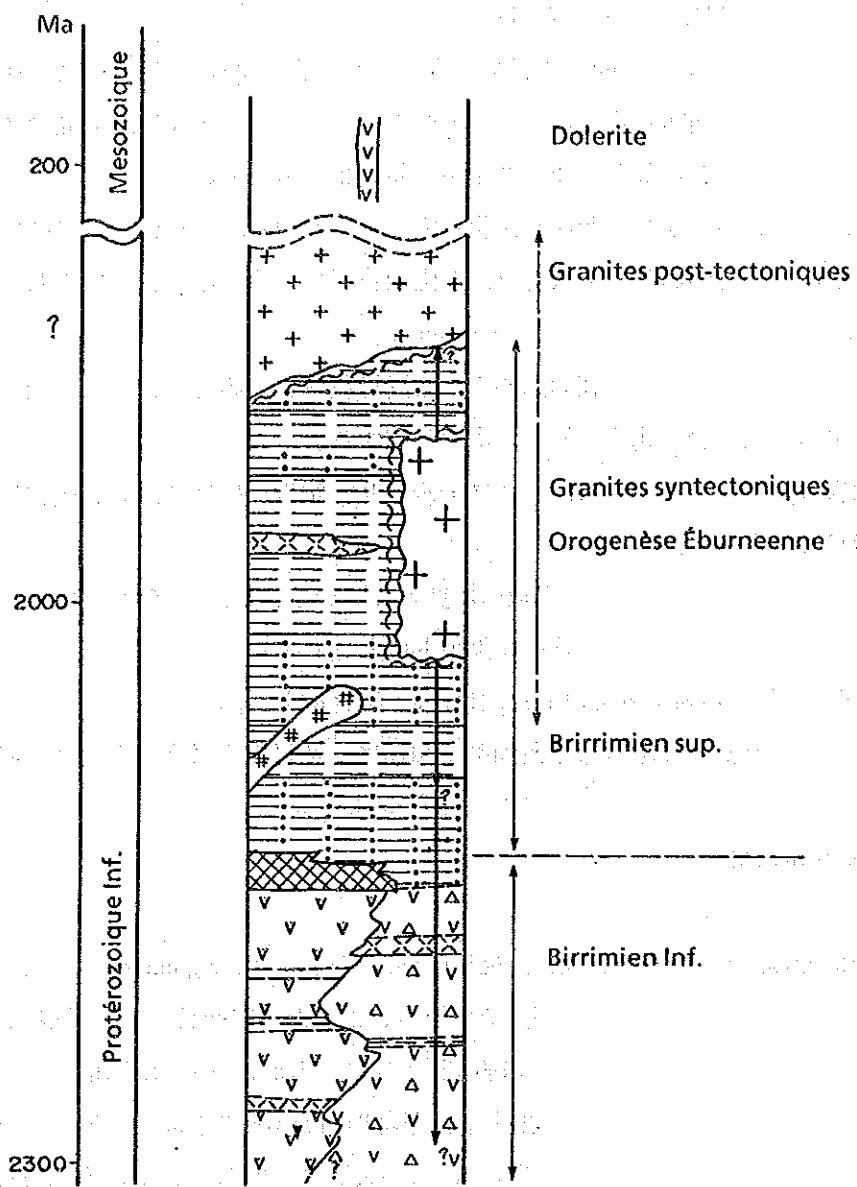
(2) Birrimien累層群の分布及び特徴

本調査地域のBirrimien累層群は、Kekoro, Keleya, Bougouni, Doussoudiana-Foulaboula及びSelingueの5地区に分布している。

Kekoro地区 Dogoの東側からKekoro周辺にかけての本調査地域の北東部に分布する。分布面積は約1,200km²である。

泥質片岩、砂質片岩などからなる。全体に接触変成作用を受けており、ホルンフェルス化し、一部に電気石含有珪岩が生じている。Dogoの東側では泥質片岩を主とし、Kekoro周辺では砂質片岩、電気石含有珪岩などの砂質岩を主体とし、泥質片岩を伴う。

Keleya地区 本調査地域北部のKeleya周辺に分布し、北西-南東方向に伸長した形態を示す。



LEGENDE












- | | | | |
|---|---------------------------------------|---|-----------------------------|
|  | Schistes argileux |  | Roche pyroclastique |
|  | Schistes gréseux
Arkose, Grauwakes |  | Granites (Syntectoniques) |
|  | Schistes tufier |  | Granites (post-tectoniques) |
|  | Amphibolites |  | Dolérite |
|  | Gabbros |  | Cornéenne |
|  | Méta-basaltes,
andésites | | |

图 17 Bougoni 地域地質模式層序图

分布面積は約 700km²である。

青灰色を呈する泥質片岩を主とし、砂質片岩を伴う。本地区でのこれらの片岩類には、片状構造があまり発達せず、原岩の組織が比較的よく残されている。泥質片岩はシルト岩を原岩とし、砂質片岩はアレナイト質砂岩を原岩としている。花崗岩類の近傍を除いて熱変成は弱い。

代表的岩石の顕微鏡観察結果は次のとおりである。

岩石名 : アレナイト砂岩

試料番号 : D-021

採取地 : Keleyaの東南25km

鏡下での特徴: 石英と長石の亜角～亜円鉱物片(最大径 1.5mm)で主に構成される。石英は部分的に良く円磨されている。原岩の組織が明瞭に残されており、幅 3mmのラミナが認められる。基質には黒雲母と不透明鉱物の細片が微量に含まれ、また、球状の青緑色粘土粒(海緑石)が含まれる。

Bougouni地区 Konda南西側からOureにかけてほぼ南北に伸びた帯と、BougouniからGaraloにかけての南北に伸びた帯がBougouniの東側で連結した形で分布している。分布面積は約 1,100km²である。

砂質片岩を主とし、泥質片岩を伴う。小規模に珪質片岩が分布する。全体に接触変成作用を受けてホルンフェルス化している。

砂質片岩はBougouni近傍の国道沿いやBougouni南方の道路沿いなどに露出している。アレナイト質砂岩を原岩とする暗灰色を呈する塊状の岩石で、片理は不明瞭である。珪質片岩はBougoula-Bogo間の道路沿いに露出する。灰白色の珪質岩で弱い片状構造を示す。不規則な石英脈を伴っている。

代表的岩石の顕微鏡観察結果は次のとおりである。

岩石名 : 砂質片岩(黒雲母ホルンフェルス)

試料番号 : B-125

採取地 : Bougouniの南6 km

鏡下での特徴: 石英と長石の残晶(最大径 2 mm)を含み、基質は細粒の石英と赤褐色の黒雲母からなる。細粒部と粗粒部が互層し、原岩の堆積構造がよく保存されている。原岩はアレナイトである。基質の石英は全体に再結晶している。黒雲母は細粒部に多く生じており、定向配列が顕著である。粗粒部にはアクチノ閃石が生じている。

Doussoudiana - Foulaboula地区 Niarako, DoussoudianaからKoloniにかけて及びFaragouaranからFoulaboulaにかけて広く分布している。分布面積は約 1,800km²である。

本地区東側のNiarako, DoussoudianaからKoloniにかけては、砂岩(グレイワッケ)及び砂質片岩を主とし、一部に酸性凝灰質片岩を挟む。本地区西側のFaragouaranからFoulaboulaにかけて

は泥質片岩を主とし、一部に酸性凝灰質片岩を挟むが、Foulaboula付近には砂岩及び砂質片岩が分布する。

砂岩（グレイワッケ）は、黒色を呈する淘汰の悪いもので、肉眼的に石英粒や泥岩パッチが観察される。泥質片岩は、暗灰色～灰色を呈し、片状組織が発達する千枚岩及び黒雲母片岩である。凝灰質片岩は、白色を呈し、珪質で、石英粒が紡錘形に伸びて一見流理様の組織を示す。

代表的岩石の顕微鏡観察結果は次のとおりである。

岩石名 : グレイワッケ（ホルンフェルス）

試料番号 : B-262

採取地 : Doussoudianaの東南20km

鏡下での特徴：泥質岩と珪質岩の岩片（最大径3mm）や石英と長石の残晶（直径3mm）を多く含む。粒子の淘汰は良くない。基質は細粒な石英・長石・黒雲母からなる。黒雲母の定向配列は不明瞭である。

Selingue地区 Selingue東側に南北に伸びた分布を示している。分布面積は約 600km²である。

泥質片岩を主とするが、本地区の北東側では砂質片岩が主である。一部に凝灰質片岩を挟むほか、斑れい岩の小岩体が認められる。

泥質片岩は、暗青灰色を呈する塊状の岩石で、片状構造が発達し千枚岩状である。全体に接触変成作用を受けているが、ホルンフェルス化の弱い部分では、珪質部と泥質部が葉層状に互層している。しばしば、白色の珪岩をレンズ状に挟在する。砂質片岩は明灰色を呈する塊状の岩石で、片状構造は弱い。原岩はアレナイト質砂岩である。凝灰質片岩は泥質片岩中に挟まれて細長く分布する。白色塊状の岩石で、珪長質凝灰岩を原岩とする。片状構造は強弱の幅が広く、国道沿いの露出では、風化して塊状の白色流紋岩に見える。

代表的岩石の顕微鏡観察結果は次のとおりである。

岩石名 : 泥質片岩（黒雲母片岩）

試料番号 : C-149

採取地 : Selingue北東12km

鏡下での特徴：基質は、石英と黒雲母で主に構成され炭質物を多く含む。黒雲母のlepidoblastic組織が発達し、細かい波状構造が顕著である。

岩石名 : 凝灰質片岩

試料番号 : C-159

採取地 : Selingue北東14km

鏡下での特徴：基質は微細な長石と白雲母（セリサイト）で主に構成される、大型の鉱物片は認められない。不明瞭なレンズ状構造（最大径10mm）が認められ、原岩はガラス質の珪長質火山砕屑岩と思われる。

そのほか、本調査地域には、ホルンフェルス、角閃岩、電気石岩などのBirrimien累層群起源