

第 I 部 総論

第 I 部 総 論

第 1 章 調査概要

1-1 調査目的

本調査はマリ共和国バオレ・バニフィング地域において地質及び鉱床の賦存状況の解明により、新鉱床を発見することを目的とする。さらに調査期間中において相手国機関に対し、技術移転を図ることを目的とする。

1-2 調査地域

調査位置図を Fig.I-1-1 に示す。バオレ・バニフィング地域は首都 Bamako の南東約 50～100km の Baoulé 川と Banifing 川の流域に位置する。調査地域の中央部に位置する Tonfara-Bouraba 地域には西アフリカにおける金胚胎層準である Birrimien 累層群が約 1000km² にわたり分布する。今年度調査では Tonfara-Bouraba 地域全域においてレゴリス調査と地化学探査を主体とした調査を実施した。

1-3 調査内容

調査内容は大きく衛星画像解析、地質調査・地化学探査及びボーリング調査から成る。各調査の内容を Table I-1-1 と Table I-1-2 に示す。

Table I-1-1 調査内容及び調査量一覧表

調査内容	調査量
衛星画像解析	1000km ²
地質調査・地化学探査	
1.地質調査 (Tonfara-Bouraba 地区, Dioila 地区)	1000km ² ,350km
2.ピット調査 (Tonfara-Bouraba 地区)	480m
3.地化学探査(Tonfara-Bouraba 地区)	5000 箇所
ボーリング調査	
オーガーボーリング調査 (Torokoro, Kalako,Batouba 及び Sirikoro 地区)	129 孔 2,400m

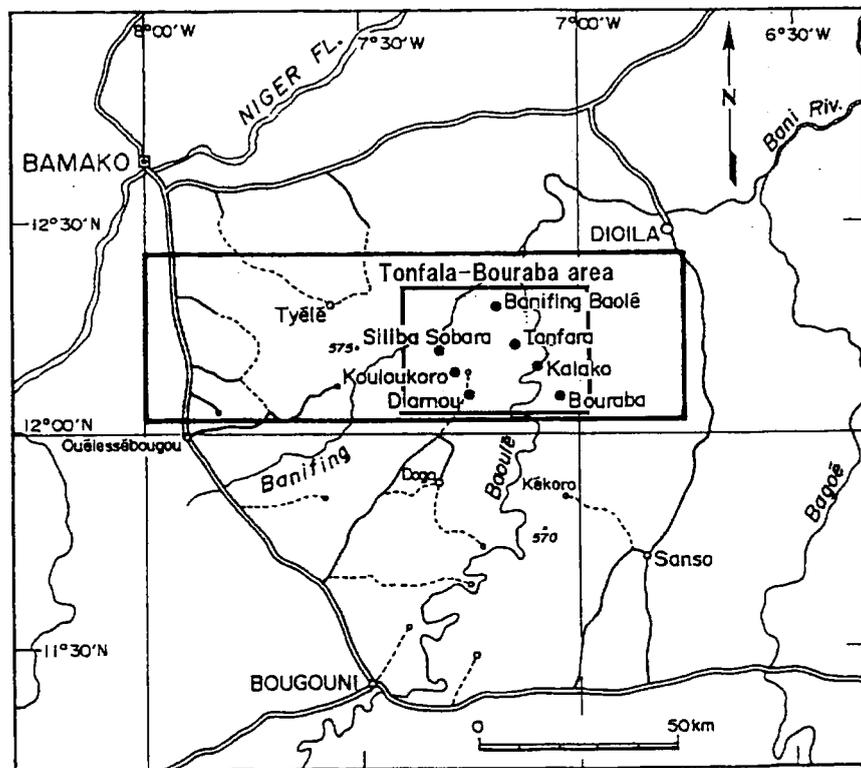
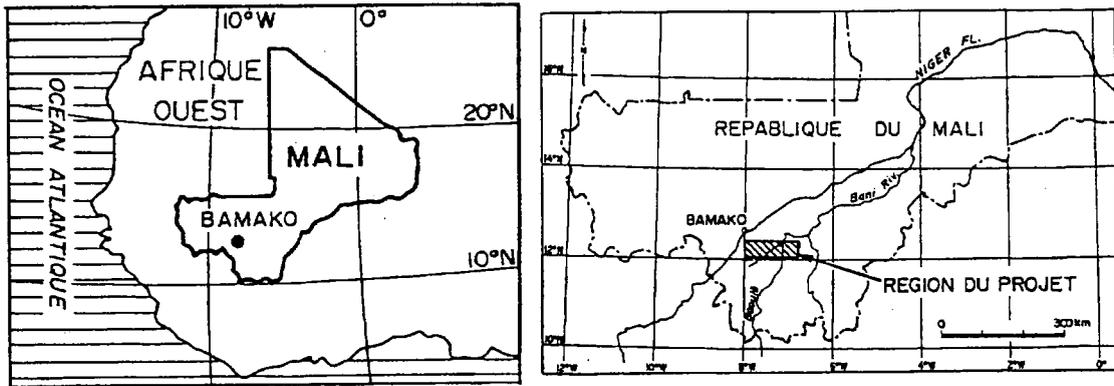


Fig.I-1-1 Location map of the survey area

Table I-1-2 室内試験数量一覧表

調査内容	試験項目	数 量
地質調査・地化学探査 地質調査	化学分析（ピット試料）	411 件
	岩石薄片作成	60 件
	年代測定	34 件
	鉱物分離	4 件
	全岩化学分析	44 件
地化学探査	化学分析	5030 件
ボーリング調査	化学分析（カッティングス試料）	2,400 件
	X 線回折	233 件

1-4 現地調査期間

2002 年 11 月 12 日～2002 年 11 月 15 日	東京→パリ→ダカール→バマコ（移動）
2002 年 11 月 16 日～2003 年 1 月 23 日	現地調査
2003 年 1 月 23 日～2003 年 1 月 25 日	バマコ→ダカール→パリ→東京（移動）

1-5 調査団の編成

調査団員名簿を Table I -1-3 に示す。

Table I-1-3 調査団員名簿

Contrepartie Japonaise		Contrepartie Malienne	
La mission pour négociation			
YOKOYAMA, Shigeru	(MMAJ)	Modibo COULIBALY	(DNGM)
HIRAI, Koji	(JICA)	Ibrahima SISSOKO	(DNGM)
FUJII, Noboru	(MMAJ)	Fatiaga KONE	(PDRM)
NUIBE, Yasunori	(MMAJ)	Hassimi B.SIDIBE	(DNGM)
NAKUI, Koji	(MMAJ)	Seydou KEITA	(DNGM)
L'équipe pour l'étude			
Chef géologue: SUZUKI, Mitsuru	(SUMICON)	Chef géologue : Emanuel THERA	(DNGM)
Géologue : TOMIZAWA, Naoaki	(SUMICON)	Géologue : Lassana GUINDO	(DNGM)
Géologue : Hase, Masahiro	(SUMICON)	Géologue : Yaya DJERE	(DNGM)
Géologue : Nagao, Takaaki	(SUMICON)	Géologue : Naby FOFANA	(DNGM)
Géologue : Kai, Michiteru	(SUMICON)	Géologue : Moussa Holla MAIGA	(DNGM)
Géologue : Seto, Takayuki	(SUMICON)		
MMAJ : Metal Mining Agency of Japan		DNGM : Direction Nationale de la Géologie et des Mines	
JICA : Japan International Cooperation Agency		PDRM : Programme pour le Développement des Ressources Minérales	
SUMICON : Sumiko Consultants, Co., Ltd.			

第2章 地 勢

2-1 位置・交通

調査対象のバオレ・バニフィング地域はマリ共和国南西部，首都バマコの南東に位置し，東西約 132km，南北約 44km，面積 5,800km²の範囲である。

調査のベースキャンプは調査地区に応じて，Dogo 集落と Kékoro 集落に置いた。Dogo へは首都 Bamako から車で約 200km，約 3 時間を，Kékoro へは，同じく約 310km，約 5 時間をそれぞれ要する。

それぞれのベースキャンプから調査地区までは，四輪駆動車両で 1 時間から 1 時間半で到達する。

2-2 気候・植生

本地域はサバンナ気候帯に属し，雨季と乾季が明瞭である。5 月中旬～10 月が雨季で，11 月～5 月中旬までは乾季である。年間降雨量は 1,400mm 程度で，雨季に集中し，乾季はほとんど降雨がない。年間平均気温は 25～32℃程度であるが，最高気温は 50℃に達する。

植生は疎らな森林と背の高い草が覆うが，ラテライトクラストの発達する部分は植生に乏しい。集落近くの平坦地は綿花・粟などの耕作地となっている。

首都バマコの気象資料(Table I -2-1)とマリの気候・植生図(Fig. I -2-1)を示す。

Table I-2-1 首都バマコの気象

	Jan.	Feb.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Jui.	Aout.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Temp. (°C)	24.8	27.7	30.3	31.5	31.3	29.0	26.6	25.8	26.3	27.4	26.4	24.5
Humid.(%)	28	23	23	35	52	67	77	83	80	68	50	36
Préc.(mm)	0.5	0.5	3.0	15.6	61.6	145.1	244.2	326.1	215.3	65.7	7.5	1.4

2-3 地 形

本地域は標高 350m 前後のゆるやかな高原状台地と，その中に標高 400m 以上に達する丘陵～山岳地帯からなる。河川は Baolé 川と Banifing 川が本地域中央部を蛇行しながら北流して合流する。その支流が調査地域内に発達するがそのほとんどは乾季には枯れる。

Tonfara-Bouraba 地域および Dioila 地域のレゴリスの分布と地形発達史を明らかにすることを目的に，LANDSAT 7 ETM+フォールスカラー画像，同比演算画像および空中写真の地質学的判読を行い，同時に，地表踏査を実施した。

Tonfara-Bouraba 地域および Dioila 地域のレゴリスの分布と地形発達史を明らかにすること

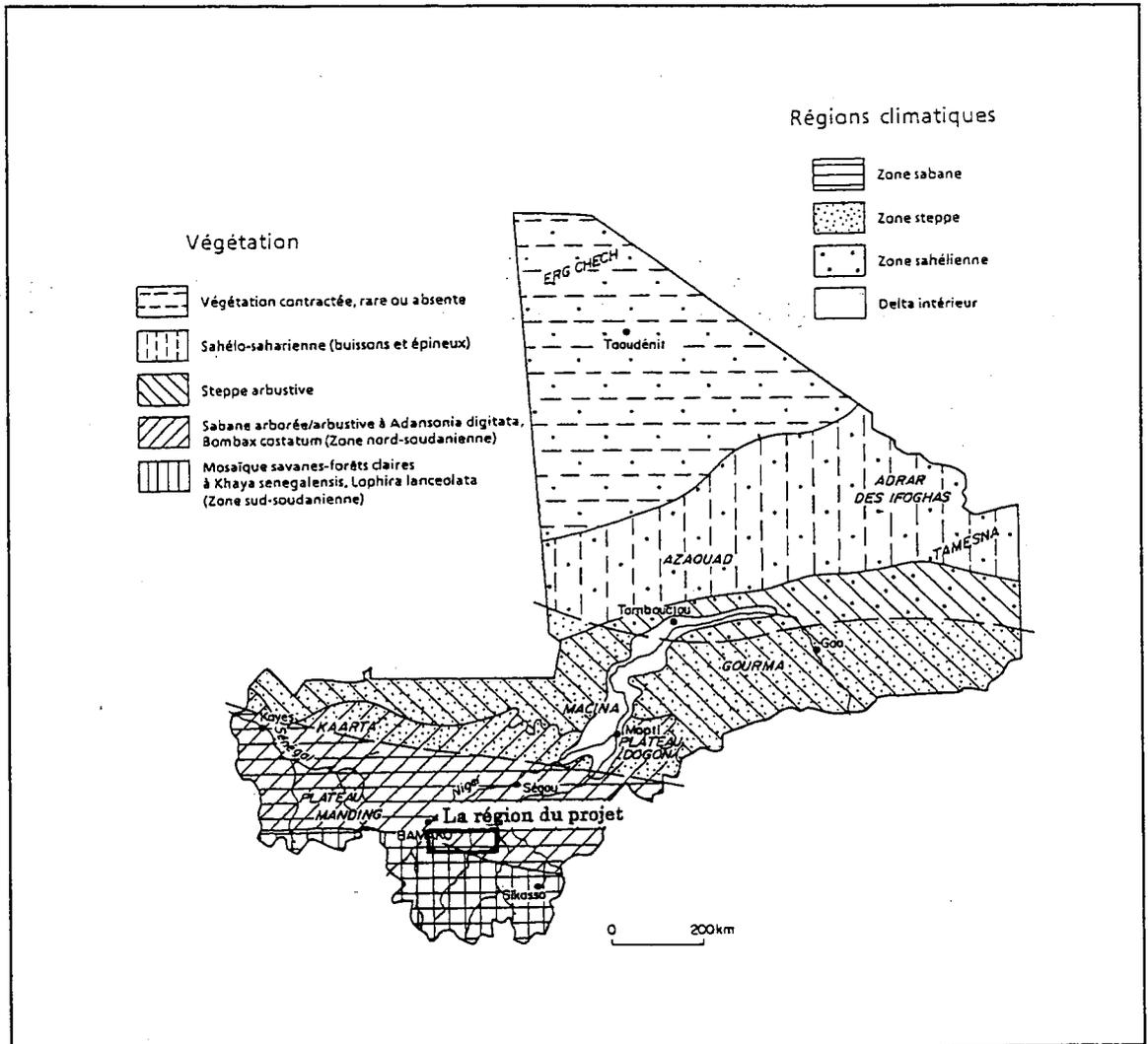


Fig.l-2-1 Climate and vegetation of mali

を目的に、LANDSAT 7 ETM+フォールスカラー画像、同比演算画像および空中写真の地質学的判読を行い、同時に、地表踏査を実施した。

Tonfara-Bouraba 地域および Dioila 地域のレゴリスの分布と地形発達史を明らかにすることを目的に、LANDSAT 7 ETM+フォールスカラー画像、同比演算画像および空中写真の地質学的判読を行い、同時に、地表踏査を実施した。

第3章 バオレ・バニフィング地域の地質概要

3-1 調査地域周辺の広域地質

バオレ・バニフィング地域は西アフリカ・クラトン内に位置する。同クラトンの大西洋側は西アフリカ褶曲帯へ、内陸側は汎アフリカ造山帯へそれぞれ連なる。

西アフリカ・クラトンの地質は原生代前期(24-22 億年前)に形成され、エブルニア造山運動(20±2 億年前)で変成(緑色片岩相)・変形されたと考えられる Birrimien 累層群と、これを貫くバソリス状花崗岩類から主に構成される。BRGM(1989)によれば Birrimien 累層群は火山岩類(変玄武岩、安山岩、凝灰岩など)に富む上部層と、堆積岩類(片岩、砂岩、泥質岩、グレーワッケなど)に富む下部層に区分される(Fig. I-3-1)。調査地域を含むマリ国南西部に分布する Birrimien 累層群は、同累層群下部に相当するものと考えられ、泥・砂質岩を主とし、火山岩類を伴う緑色片岩相の変成岩からなる。

3-2 調査地域の地質

3-2-1 地質

バオレ・バニフィング地域の地質図を Fig. I-3-2 に、Tonfara-Bouraba 地域の地質図及び同断面図を Fig. I-3-3 示す。Tonfara-Bouraba 地域の地質は原生代初期の Birrimien 累層群とそれを貫く貫入岩類により構成される。このほか二畳紀貫入とされる小規模な塩基性火山岩類と河川沿いの第四紀砂礫層が分布する。以下に Tonfara-Bouraba 地域の地質記載を行う。Ap.2～Ap.3 には顕微鏡観察結果を、Fig.I-3-4 と Ap.4 には年代測定結果をそれぞれ示す。なお、以下の記述で年代値を言及する場合、特にことわりがなければ全岩年代値を示す。

(1) Birrimien 累層群

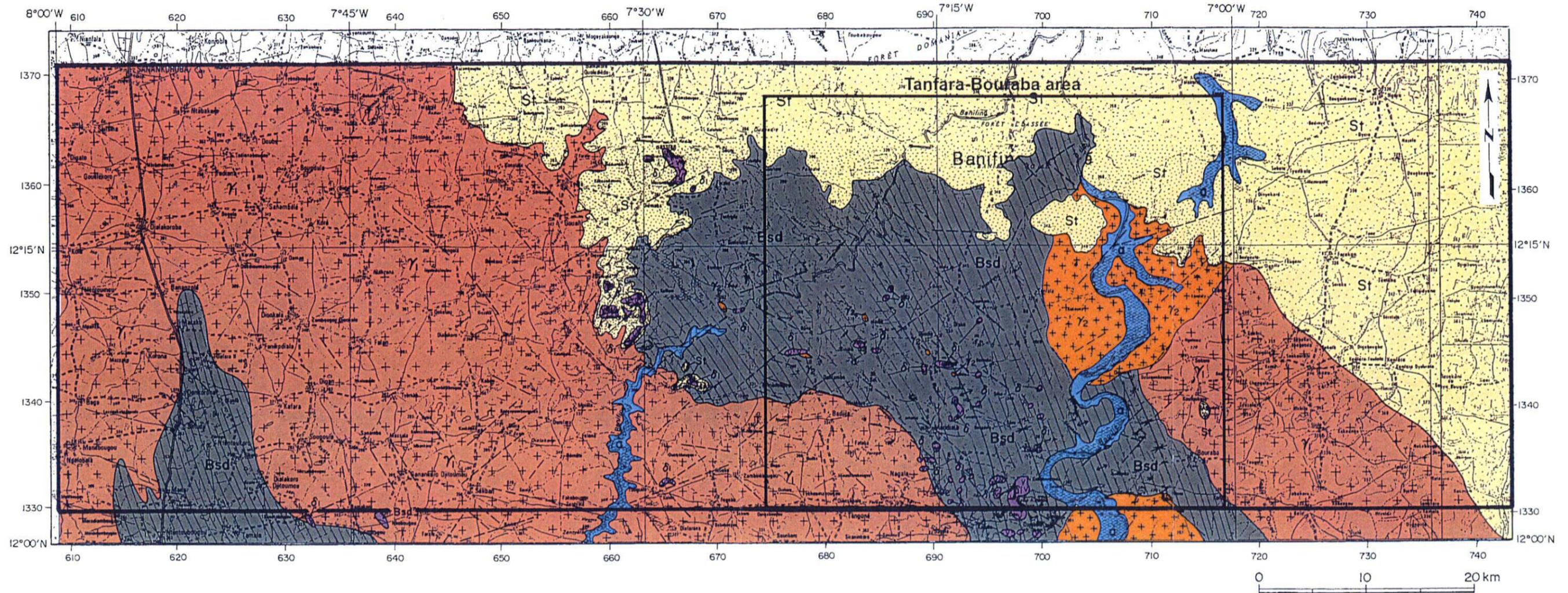
Birrimien 累層群は Tonfara-Bouraba 地域のほぼ中央部に NW-SE 方向に伸張して分布する。地域全域にわたり露出が少ないため Birrimien 累層群の層序や全体的な岩質は明らかになっていない。このような地域のなかで、Diamou 地区から Siriba-Sobara 地区にかけての Birrimien 累層群分布域の西縁部には比較的多くの露頭が分布する。それらの岩質は等量～砂勝ち砂岩泥岩互層を主とし、少量の塩基性及び酸性の変火山岩類を伴う。これらの岩石は緑色片岩相の広域変成作用を受けて片岩となっている。

(2) 前期原生代の貫入岩類

前期原生代の貫入岩類として火山岩類と花崗岩類があり、それらはバソリス、岩株あるいは小岩脈として主に Birrimien 累層群分布域の縁辺部に分布する。これらは岩質、産状および分布位置から Diamou 貫入岩類、Diamou 北部花崗岩類、Diamou 東部花崗岩類、サガラ北方花崗岩類、Kalako 東方花崗岩類、Sirikoro 花崗岩類、サガラ花崗岩類などに区分される。

Age (Ma)		Formation	Lithology	Igneous activity	Alteration and Mineralization
1800	..... ..... .....	Tarkwaian System Kaware Group	Quartzites, grits, phyllites, conglomerates (250-700m thickness)		
2130	xxxx xxxx xxxx		Granitoid and syenites	Eburnian Cycle	Metamorphism HTS Au sulphide
	∞∞ ∞ ∞∞	Upper Birrimien Basic Volcanic Subseries	Bulk of the Up. Birrimien normal greenstones and green schist		
	VVV VVV VVV	Upper Birrimien Acid Volcanic Subseries	Meta-rhyolite, qtz-felds porphyry, felsites and quartz-chlorite schist		
	.v. .v.v. .v.	Sedimentary - Volcanic Subs.	Meta-tuffaceous greywacke		
	..... ..... .....	Upper Arenaceous Subseries	Massive meta-sandstones, meta-graywacke and minor thin metasiltstone		
	v v	Upper Argillaceous Subseries	Predominantly rock assemblage of phyllite, siltstone, and their tuffaceous varieties		
	..... ..... v*	Lower Birrimien Middle Arenaceous Subseries	Meta-graywacke, meta-siltstone phyllite, Typically tuffaceous and manganiferous in the middle parts Rhythmically bedded in the lower parts,		
	----- ----- -----	Lower Argillaceous Subseries	Predominantly phyllite, inter bedded with tuffaceous phyllite		
	..... ..... ..... v	Lower Arenaceous Subseries	Lithic assemblage of meta-graywacke, meta-sandstone, meta-siltstone, phyllite and tuffaceous varieties of these rock types		
2600+	+++ +++ +++		? Unconfrimty ? Granitoids, migmatites, ultramafic rocks and granulites	Liberian Cycle ?	

Fig.I-3-1 General stratigraphy



LEGEND

- | | |
|--|--|
| <p>Alluvial</p> <p> a Clay, silt and sand</p> <p>Intrusive rocks</p> <p> δ₁ Dolerite, Gabbro</p> <p> δ₂ Biotite hornblende diorite</p> <p>Sotuba Group</p> <p> St Fine grained sandstone</p> | <p>Post-tectonic Granite</p> <p> γ₂ Alkali granite, Syenite, Quartz diorite</p> <p>Syn-tectonic Granite</p> <p> γ₁ Hornblende biotite granite-granodiorite</p> <p>Birimien Group</p> <p> Bsd Pelitic schist, psamitic schist</p> |
|--|--|

Fig.1-3-2 Geological map of Baoule-Banifing area

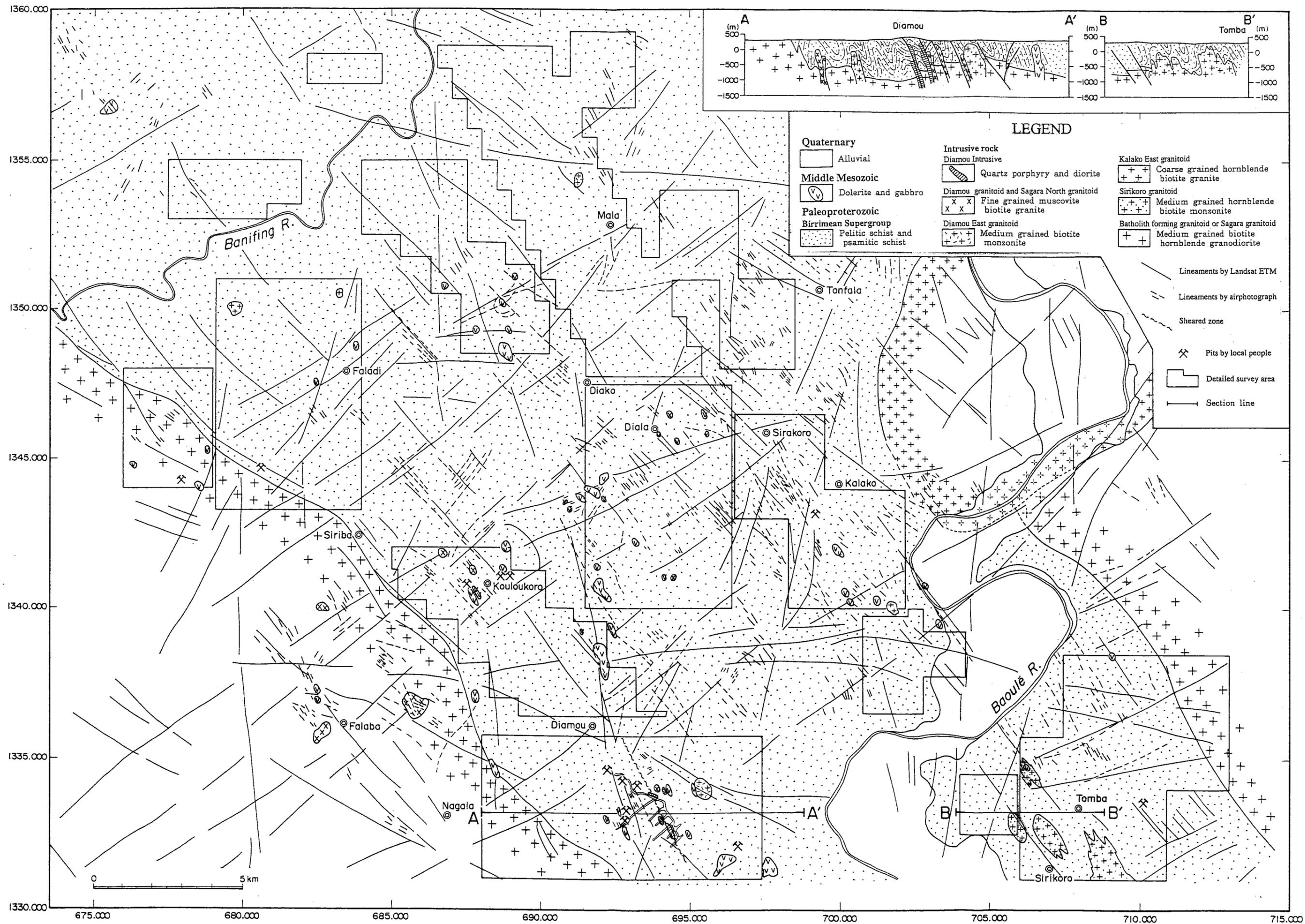


Fig. I -3-3 General geological map and geological section in Tonfara-Bouraba

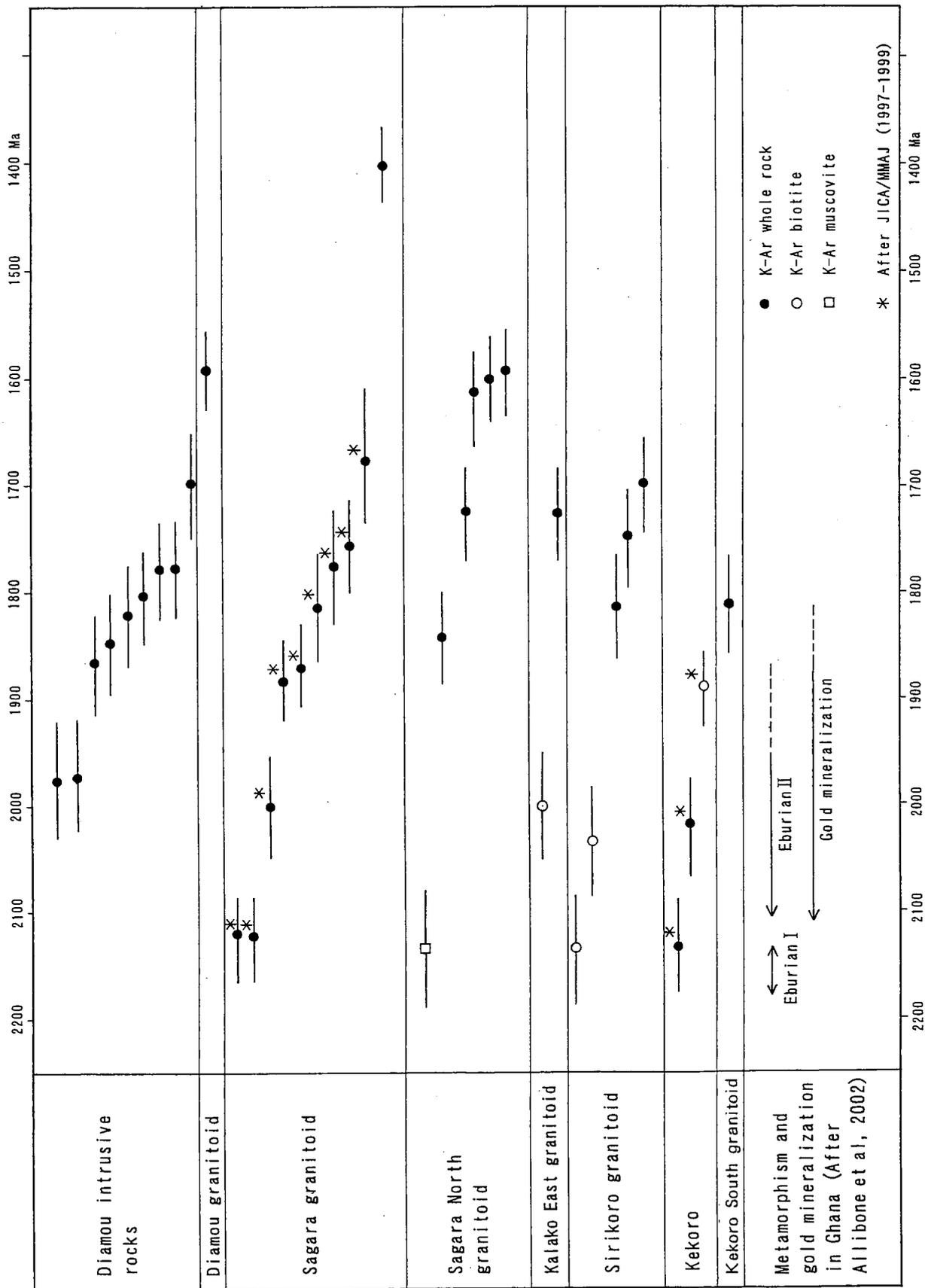


Fig. I -3-4 K-Ar dating of intrusive rock

1) Diamou 貫入岩類: Diamou 地域のほぼ中央部において Birrimien 累層群中の岩脈として分布する。個々の岩脈は幅数 m~数十 m で NNW-SSE 方向に数十 m から数百 m の伸びを示す。本岩類の岩種は閃緑岩と石英斑岩からなる。両者は相互に小断層で接し、全体として錯綜した分布を示す。閃緑岩は暗灰色の中粒岩で、構成鉱物は斜長石、アクチノ閃石を主とし、少量の石英と黒雲母を伴う。石英斑岩は灰白色の緻密質石基中に長石及び石英の斑状変晶を多量に含む岩質を示し、時に石基が粗粒となり、アプライト様の見かけを呈する場合がある。本岩類は細粒黒雲母やアクチノ閃石を、まれに堇青石を含むことから貫入後に熱的影響を受けていると考えられる。

Diamou 貫入岩類の 9 試料のうち、明らかに熱的影響により若返ったと考えられる 1 試料を除くと、本岩類の年代値(全岩)は全体として 1780Ma から 1880Ma に集中する。岩種別では石英斑岩が $1976 \pm 56\text{Ma}$ から $1697 \pm 50\text{Ma}$ の年代値を、Diorite は $1866 \pm 48\text{Ma}$ から $1779 \pm 46\text{Ma}$ を示し、誤差の範囲で両者の年代値に大差がない。両者が相互に小断層で接している産状や年代値から石英斑岩と閃緑岩はほぼ同年代に貫入したと考えられる。すなわち、本岩類はバイモーダルな火成活動を示している可能性がある。

本岩類は熱的影響により若い年代値を示している可能性が大きい。このことを考慮すると本岩類の活動はガーナの Eburian 造山時相に対比できるかもしれない。

2) Diamou 北部花崗岩類: 本岩は Diamou 地区の北部に小規模に分布する。細粒の白雲母黒雲母石英モンゾニ岩から構成され、岩質は桃色を帯びる優白質の塊状細粒岩である。カリ長石、斜長石、石英、黒雲母、白雲母を主成分鉱物とし、少量のアパタイトを伴う。1 試料は $1591 \pm 41\text{Ma}$ の年代を示した。本岩類は岩質と分布位置から Diamou 貫入岩類の石英斑岩と類縁関係にあると考えられるが、得られた年代値は石英斑岩より 1 億年以上若い。

3) Diamou 東部花崗岩類: 中央鉱化帯東方約 1km 付近で、東西数 100 メートル以上、南北 100 メートル以上の転石帯として確認した。優白質中粒の黒雲母石英モンゾニ岩からなり、弱い縞状構造が認められる。鏡下でカリ長石、斜長石、石英、黒雲母を主成分鉱物とし、少量のアパタイト、ジルコンを伴う。本岩類から $1279 \pm 33\text{Ma}$ の年代が得られた。従来、本地域及び周辺地域の花崗岩類でこのような若い年代値を示す花崗岩類は確認されていない。本岩類に近接して二畳紀の閃緑岩が貫入していることから、年代値にはその影響が考えられる。

4) Sagara 北方花崗岩類: Tonfara-Bouraba 地域の南西隅部の Sagara 北方から Kouloukoro にかけての地区に長径数百メートルの岩株として点在する。細粒~中粒の白雲母黒雲母モンゾニ岩から構成され、しばしばペグマタイトが貫入している。構成鉱物はカリ長石、斜長石、石英、黒雲母、白雲母を主成分鉱物とし、少量のジルコンとアパタイトを伴う。本岩類の 5 試料は $1848 \pm 48\text{Ma}$ ~ $1594 \pm 41\text{Ma}$ と幅広い年代を示した。また、1 試料の白雲母年代は $2136 \pm 56\text{Ma}$ ときわめて古い年代を示した。

5) Kalako 東方花崗岩類 : Kalako の東方に長径約 10km の円形岩体として分布する。中粒の角閃石黒雲母花崗岩から構成され、弱い縞状構造が認められることがある。構成鉱物はカリ長石、斜長石、石英、黒雲母、角閃石を主成分鉱物とし、少量のチタン石とアパタイトを伴う。本岩類の 1 試料は $1725 \pm 44\text{Ma}$ と $2010 \pm 52\text{Ma}$ の黒雲母年代を示した。この黒雲母年代はガーナの Eburian II の年代に対比できる。

6) Sirikoro 花崗岩類 : Sirikoro 地区の東部に長径 500m~3km 以上、短径数百メートルから 2km 程度の楕円形の数岩体として分布する。中粒の角閃石黒雲母石英モンズナイトから構成される。構成鉱物はカリ長石、斜長石、石英、黒雲母を主成分鉱物とし、少量のチタン石、アパタイトおよびジルコンを伴う。 $1697 \pm 44\text{Ma}$ ~ $1812 \pm 47\text{Ma}$ の全岩年代および $2010 \pm 52\text{Ma}$ と 2042 ± 53 の黒雲母年代が得られ、本岩類は全岩と黒雲母年代ともに Kalako 東方花崗岩類に対比可能である。

8) Sagara 花崗岩類 : Tonfara-Bouraba 地域の Birrimien 累層群の周囲を取り囲み巨大なバソリスをなして分布する。岩質は中粒の黒雲母角閃石花崗閃緑岩から構成される。本岩類に関しては資源開発協力基礎調査ケコロ、バオレーバニフィング地域 (JICA/MMAJ:1997-1999)により 9 試料の放射年代が得られている。それによれば本岩類の年代は 1775Ma ~ 1866Ma に集中し、Diamou 貫入岩類に対比可能である。本岩類の 2 試料が 2120Ma 前後と古い年代を示している。この年代値はガーナの Eburian 造山時相の年代に対応する。

9) Kekoro 南部花崗岩類 : 本岩類は Tonfara-Bouraba 地域外南方の Kekoro 部落の南側において、鉍化帯周辺に分布する。比較のためにここで記載する。岩質は細~中粒の石英閃緑岩ないし閃緑岩である。構成鉱物は斜長石と石英で、2次生成と考えられる黒雲母を比較的多量に含む。副成分鉱物としてはチタン石、アパタイトを含む。本岩類の 1 試料から $1813 \pm 47\text{Ma}$ の年代が得られた。この年代値は Diamou 貫入岩類や Sagara 花崗岩類の集中する年代値の範囲に入る。

(3) 二疊紀の貫入岩類

Tonfara-Bouraba 地域全域に多数の岩体が分布する。個々の岩体の規模は通常幅 10 数 m 程度で、100 m 以上延長することが多い。岩質は優黒色の細粒輝石閃緑岩、輝石ガブロ及び粗粒玄武岩である。空中磁気探査で抽出された正磁気異常(JICA/MMAJ,2001)付近には本岩が分布することが多い。本岩の 5 試料からは $208 \pm 7\text{Ma}$ ~ $287 \pm 8\text{Ma}$ の放射年代が得られた。

(4) 地質構造

Birimien 累層群は Tonfara-Bouraba 地域全域にわたって北西-南東走向で東に急傾斜を示し、一見単純な単斜構造をなす。しかし、Diamou 地域では NW-SE 方向の軸をもつ褶曲構造により地層が繰り返していることを確認しており(JICA/MMAJ,2002), また Tonfara-Bouraba 地域の中央部にあたる Batouba 地域や地域南方の Kekoro 地域においても NW-SE 系の褶曲構造を確認している。これらのことから本地域 Birimien 累層群中には全域において波状の褶曲構造が発達していることが推定される。

衛星写真から抽出されたリニアメントは比較的大規模な構造を反映すると考えられ、これは NNW-SSE 系~NW-SE 系, WNW-ESE および ENE-WSW 系が卓越する。このほか頻度は少ないが N-S と E-W 系も認められ、それらには数十 km にわたり断続するものがある。

このようなリニアメントは空中磁気探査による鉛直一次微分図(JICA/MMAJ,2002:Fig.II-2-23)に表れた線構造とよく一致し、その多くが断裂を示している可能性が大きい。

以上のリニアメントのセンス・新旧関係は衛星写真からは明らかでない。Diamou 地区ではトレンチ調査により衛星写真によるリニアメントと同様の NW-SE 系, WNW-ESE および ENE-WSW 系の断層が卓越していることが明らかになっている(JICA/MMAJ, 2002)。方向性の一致から衛星写真のリニアメントと Diamou 地区の断層はそれぞれ対比可能である。Diamou 地域では NNW-SSE 系~NW-SE 系リニアメントは東に急傾斜を示す逆断層, WNW-ESE は左横ずれ断層, ENE-WSW 系は転移量がほとんどない急傾斜の正断層であった。したがって、Tonfara-Bouraba 地域全域が断層形成時に ENE-WSW 方向に圧縮主応力軸をもつ広域応力場にあったと推定される。本地域や周辺地域で確認された褶曲軸もこの広域応力場に調和的な走向を示す。

Diamou 地区では NNW-SSE 系~NW-SE 系と WNW-ESE 系の断層沿いに貫入した Diamou 貫入岩類に沿って鉱化帯が生成していることから、この 2 系列のリニアメントは有望地を抽出する際の大きな検討材料である。

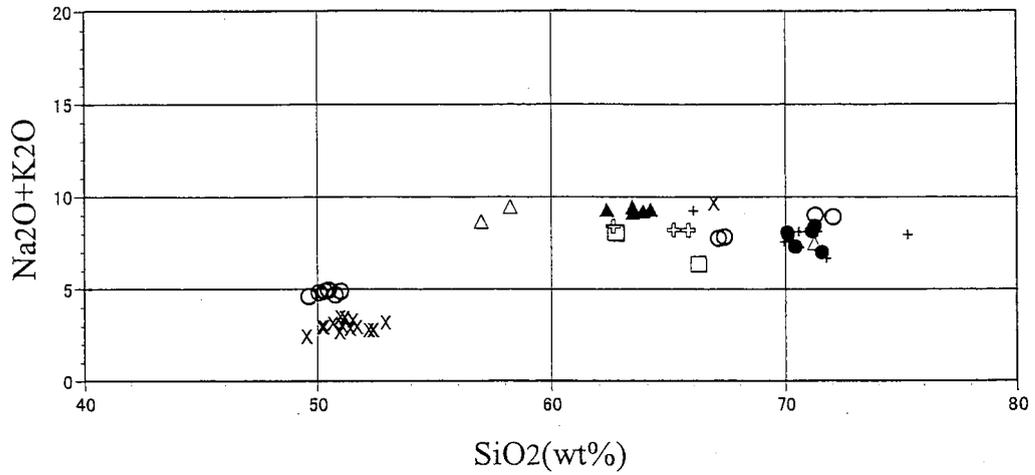
空中写真から抽出されたリニアメントは比較的小規模な構造を反映していると考えられる。実際、それらが片理の方向と一致することを多くの場所で確認している。判読されたリニアメントは大部分が NNW-SSE 系~NW-SE 系である。

(5) 全岩化学分析結果

ここでは全岩化学分析値を用いて貫入岩類の化学的特徴について各種図を用いて記載する。化学分析の結果は Ap.5 に示した。

1) SiO₂/ Na₂O+ K₂O (Figure I-3-5)

本地域の貫入岩類を SiO₂(重量%)から区分すると 50%前後に集中するグループと 58%~73%に分布する二つのグループにわかれる。前者には Diamou 貫入岩類の閃緑岩と中生代の塩



- Diamou Intrusive
- Diamou North Granotoid
- ▲ Diamou East Granotoid
- + Sagara North Granotoid
- △ Kalako East Granotoid
- ⊕ Sirikoro Granotoid
- Molira Granotoid
- × Mesozoic Intrusive

Fig. I -3-5 SiO₂/ K₂O+Na₂O variation diagram

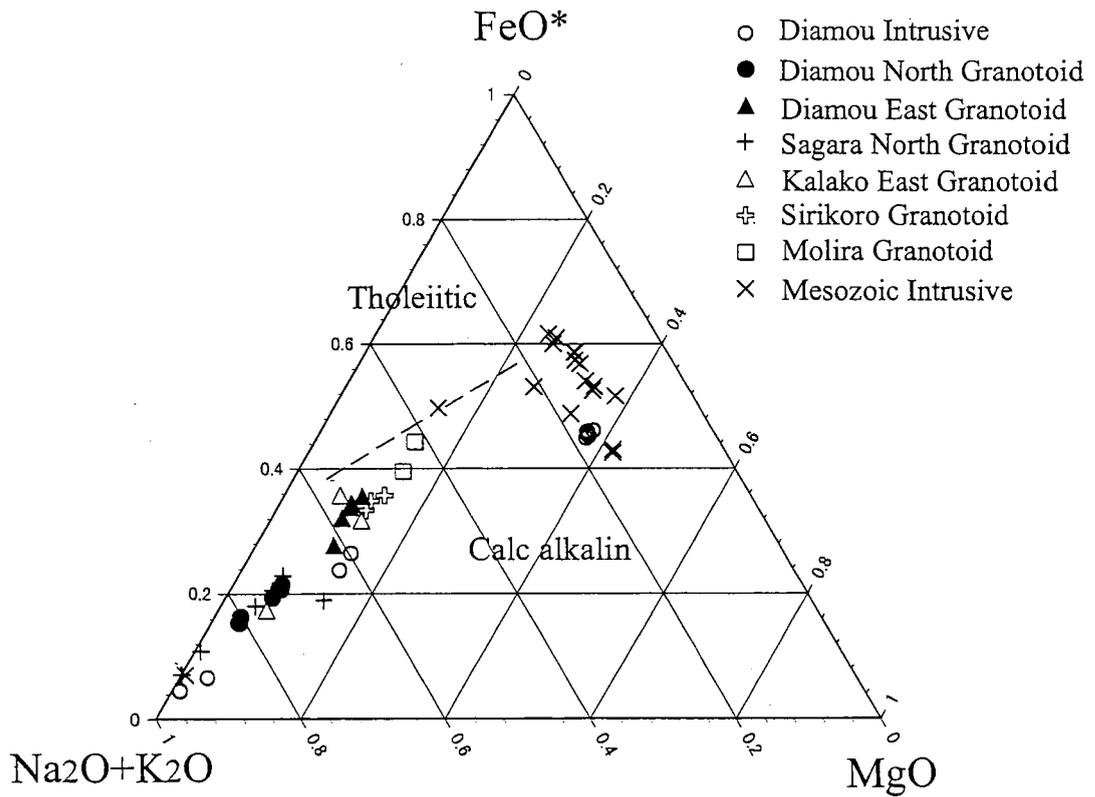


Fig. I -3-6 Molar proportion of Na₂O+K₂O , FeO*(total iron) and MgO

基性岩に、後者はそのほかの花崗岩類が含まれる。

後者のなかで Kalako 東部花崗岩類にやや SiO₂ にとぼしいものがあり、Diamou 貫入岩類の石英斑岩、Diamou 北部花崗岩類および Sagara 北部花崗岩類には SiO₂ が 70%を超えるものがある。

Na₂O+ K₂O は Diamou 貫入岩類の閃緑岩と中生代の塩基性岩が 3~5%、その他の貫入岩類が 7~10%も含まれる。これは SiO₂/と Na₂O+ K₂O の含有量にもとづく火山岩の分類では(例えば都城・久城, 1975)、アルカリ岩と非アルカリ岩の境界部にある。

2) AFM ダイアグラム(Figure I-3-6;Irvine and Baragar, 1971)

AFMダイアグラムからは Tonfara-Bouraba 地域の貫入岩類はカルクアルカリ岩系に属することがわかる。

3) 花崗岩系列(Figure I-3-7:磁鉄鉍系列とチタン鉄鉍系列)

Diamou 貫入岩類の塩基性岩、中生代中期の貫入岩類、Kalako 東部花崗岩類、Sagara 北部花崗岩類が磁鉄鉍系列の領域に入る。その他は境界領域かおおむねチタン鉄鉍系列の領域にプロットされる。

4) 花崗岩系列(I タイプと S タイプ)

Chappell と White(1974)の花崗岩系列のうち S タイプは碎屑性堆積岩、特に泥質堆積岩がマグマの生成に深く関与したと考えられる花崗岩で、I タイプは火成岩類が再溶融して生成されたと考えられる花崗岩である。両タイプの識別には Al₂O₃/(CaO+Na₂O+K₂O)比 (モル比で 1.1 以上が S タイプ、1.1 以下が I タイプ) や CaO/((Al₂O₃-Na₂O-K₂O)+CaO+(FeO+MgO))比(ACF ダイアグラム)が使われる。

ACF ダイアグラム(Figure I-3-8)では Diamou 東部花崗岩類と Kekoro 南部花崗岩類が S タイプ、Diamou 北部花崗岩類、Sirikoro 花崗岩類および Diamou 花崗岩のうちの閃緑岩が I タイプにプロットされ、ほかは全てが両方のタイプにまたがりか境界領域にプロットされる。なお、Kalako 東部花崗岩類は主要構成鉍物として角閃石を含むことから I タイプに属すると考えられる。

Table I-3-1 には以上の関係をまとめた。

Table I-3-1 Granite series of the Intrusive rocks in Tonfara-Bouraba area

	Granite series	Intrusive rocks
Magnetite series	I type	Diamou Intrusive (Diorite) & Kalako East Granitoid
Ilmenite series	I type	Diamou Intrusive (Quartz porphyry), Diamou North Granitoid & Sirikoro Granitoid
Ilmenite series	S type	Diamou East Granitoid & Kekoro South Granitoid

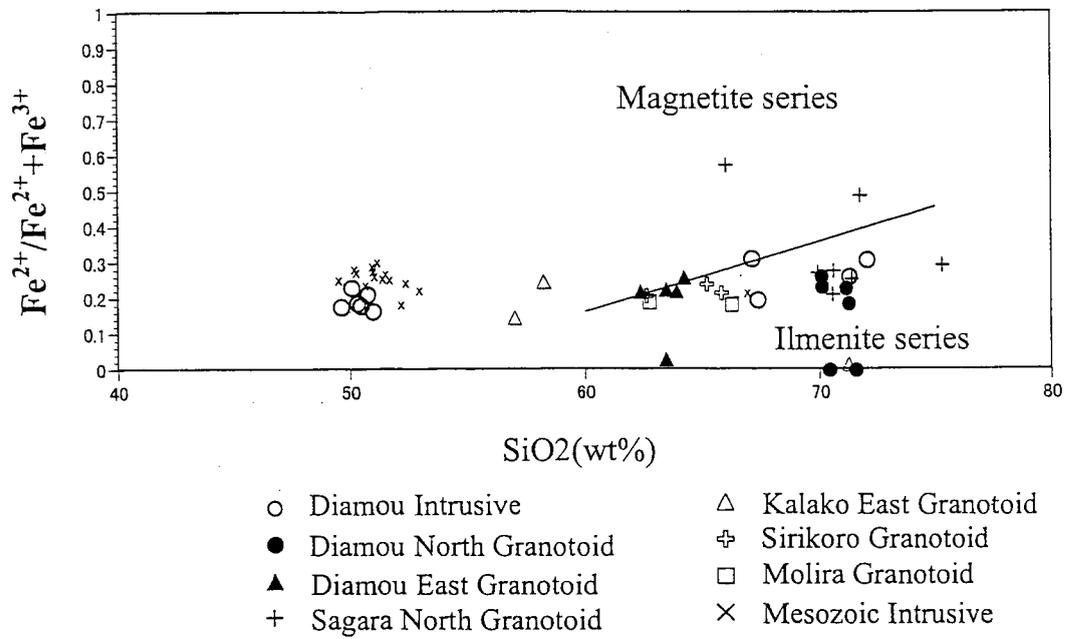


Fig. I -3-7 SiO₂/(Fe³⁺+Fe³⁺) variation diagram

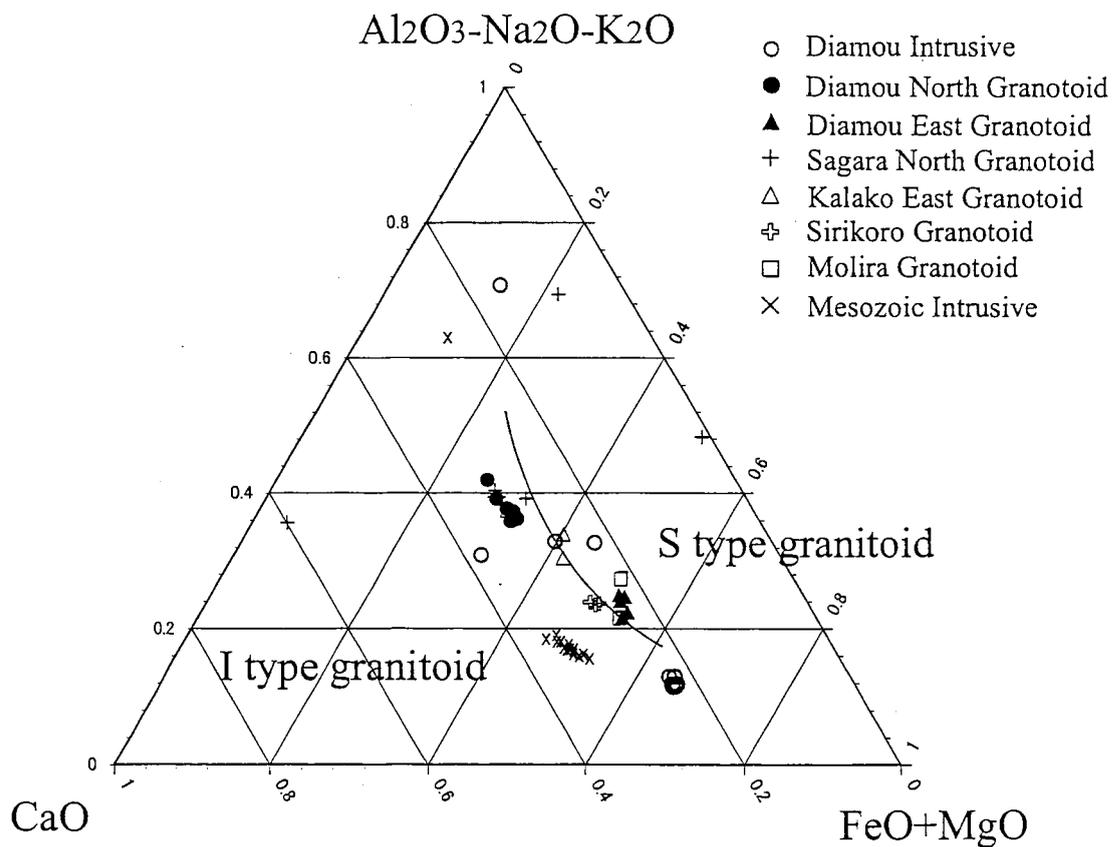


Fig. I -3-8 Molar proportion of CaO, Al₂O₃-Na₂O-K₂O and FeO+MgO

これらの貫入岩類と鉍化作用や鉍徴との関連は以下のとおりである。

Diamou 貫入岩(閃緑岩)と Kalako 東部花崗岩類は磁鉄鉍系列で I タイプに属すると考えられる。前者の岩脈際には鉍化帯が賦存され鉍化作用との関連性が示唆される。後者と鉍化作用との関連ははっきりしないが、その西方には有望な地化学異常が抽出されている(第 II 部参照)。

Diamou 貫入岩類(石英斑岩), Diamou 北部花崗岩類および Sirikoro 花崗岩類はチタン鉄鉍系列で I タイプに属する。Diamou 貫入岩類(石英斑岩)の脈際に鉍化帯が抽出されており、また Sirikoro 地区には花崗岩周辺に地化学異常が広がる。

Kekoro 南部花崗岩類と Diamou 東部花崗岩類はチタン鉄鉍系列で, S タイプに属すると考えられる。Kekoro 南部花崗岩類付近には鉍化帯が確認されており, Diamou 東部花崗岩類の西方約 1km の Diamou 中央鉍化帯がある。

以上のように各花崗岩系列の岩石ともに既知鉍化帯や地化学異常との関連性が推測され、現状では岩石系列から鉍徴地や地化学異常帯の有望性を検討できない。鉍化帯をもたらした火成岩類がどのような系列に属する火成岩か明らかにすることができれば有望地を効率よく抽出するための一つの手段になりえる。年代値も含めて更なるデータの集積が望まれる。

3-3 鉍徴地

Fig.I-3-3 の地質図中と Fig.I-3-9 に Tonfara—Bouraba 地域で確認された地元民による金採掘跡の位置を示す。採掘跡は Diamou 地区から Siriba-Sobala 地区にかけての地区の Sagara 花崗岩類から 5km 離れたゾーン内に集中する。このゾーンはまた本地域で抽出された地化学異常の範囲とも一致し, Tonfara—Bouraba 地域内で金鉍床賦存の最有望ゾーンと考えられる。このほか Sirikoro, Kalako 地区にも小規模な金採掘跡が存在する。

調査地域近傍には多数の金鉍床が賦存する(Fig.I-3-10)。それらは緑色岩中の金鉍床であり Birrimien 累層群及びその近傍の火成岩類中に発達した構造的弱線, 層理面・裂罅帯などに胚胎すると考えられている。

以下に, マリの代表的な金鉍床である Sadiola, Loulo, Medinand, Kalana, Syama 及び Morila の各鉍床の概要を示す。これらの鉍床は, いずれも Birrimien 累層群中に胚胎する。なお, Table I-3-1 には各鉍床の特徴をまとめた。

Sadiola 鉍床: バマコの西方約 350km のマリ・セネガル国境付近に位置する。資源量は金量約 159t(平均品位 3.06g/t Au)と言われ(DNGM, 2001: 内部資料), 1996 年 12 月から露天掘りによる出鉍を開始した。2002 年の金生産量は 16.1t である。世界有数の低コスト金鉍山として注目されている。開発は SEMOS 社(Anglo American 社が 38%, Iamgold 社が 38%, マリ政府が 18%, IFC(国際金融公社)が 6%を出資)によって行われている。採掘対象は金を含むサプロライトである。地表付近のサプロライト(酸化帯)の鉍量は 24.1Mt, 下部のサプロライト(還元帯)の鉍量は 18.9Mt である。ボーリング結果によれば, 地下深部の金鉍

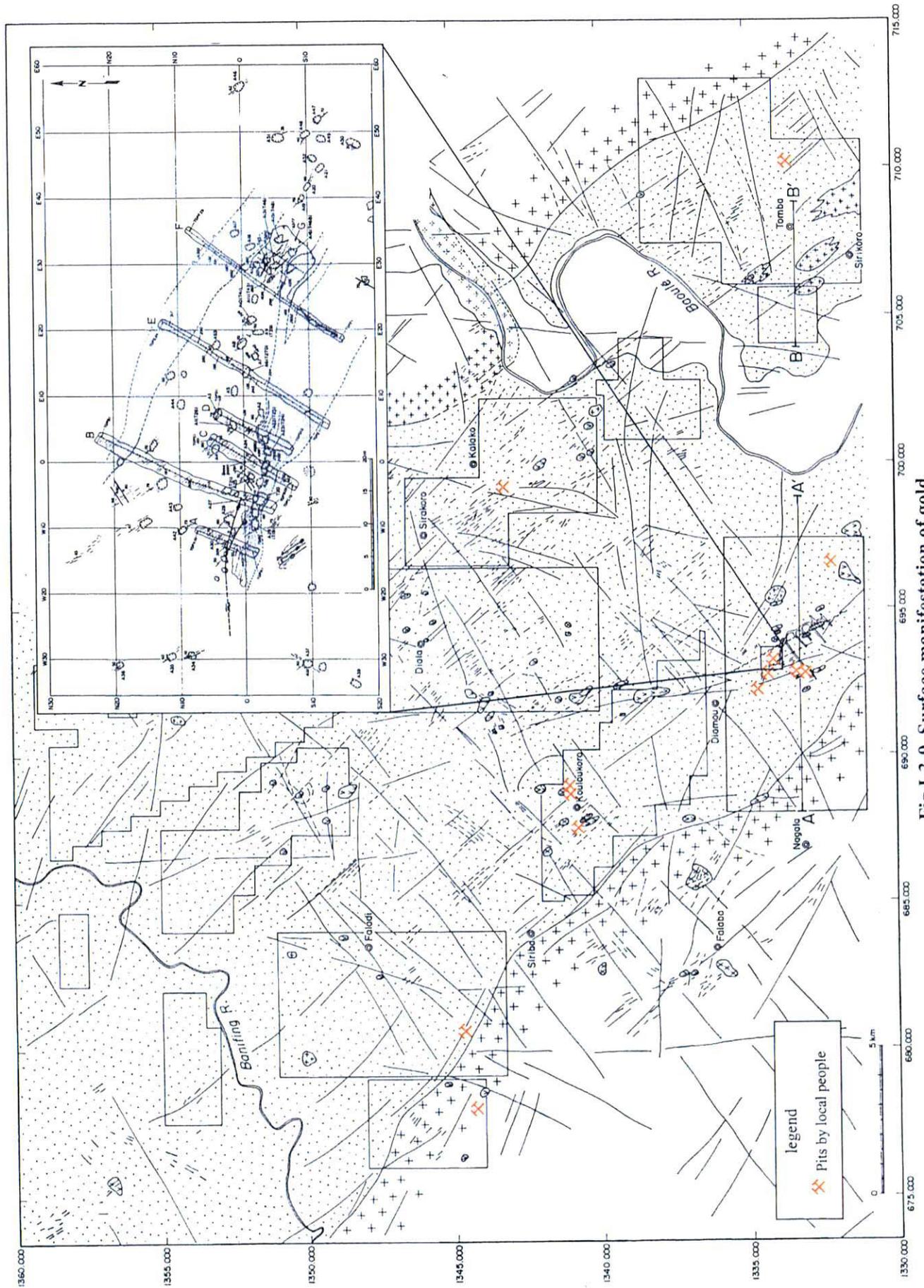


Fig. I-3-9 Surface manifestation of gold

化帯は「Sadiola フラクチャー帯」と呼ばれる変質を受けた破碎帯に沿って分布し、地下 400～500m まで連続することが確認されている。

Loulo 鉱床：バマコの北西約 300km，Sadiola 鉱山の南約 80km に位置する。1983 年に発見された鉱床で、現在、SOMILO 社(Randgold 社が 51%，La Source 社が 29%，マリ政府が 20%を出資)によって F/S が実施されている。金鉱床は強い電気石化を受けた砂岩中に胚胎する。金は砂岩基質中の鉱染状自然金として産し、多量の鉱染状硫化鉱物を伴う。F/S 前の資料によれば、「Loulo 0 鉱体」は 10m 幅で南北 800m に連続し、地表から地下 150m までの資源量は金量 28.2t(平均品位 4.38g/t Au)と算出されている(Dommanget et al., 1985)。

Medinandi 鉱床：マリ・セネガル国境付近に位置する。1960 年に SONAREM が探査活動を行い、Au11.14g/t，金量 4 トンを確認した。鉱床の母岩は Birrimien 累層群の変成グレイワッケ，安山岩などである。鉱化作用は Birrimien 累層群の破碎帯中に認められ、不規則脈状又は鉱染状である。鉱化帯は幅 0.4～2.0m で走向延長 4～6km である。金は石英細脈や硫化鉱物を伴って産する。硫化鉱物としては黄鉄鉱が最も多く、少量の磁硫鉄鉱，黄銅鉱，方鉛鉱，閃亜鉛鉱などを伴う。

Kalana 鉱床：ギニアとの国境に近い Yanfolila の南約 42km に位置する。1966 年に旧ソ連の技術支援を受けて SONAREM によって発見されたもので、1985 年から 1991 年にかけて 2～3t の金を生産した。旧ソ連崩壊後に操業を休止し、1995 年以降は Ashanti Goldfield 社グループが権益を取得し、現在 F/S を実施中である。金は Birrimien 累層群の変堆積岩と閃緑岩を母岩とする石英脈中に自然金として産する。石英脈中には硫砒鉄鉱と黄鉄鉱が多量に認められ、流体包有物充填温度は 340～420℃を示す。資源量は金量約 44t(平均品位 15g/t Au)と言われる(DNGM, 2001: 内部資料)。

Syama 鉱床：バマコの南東約 300km に位置する。1960 年代に SONAREM による空中磁気探査とボーリング調査が行われ、1980～1986 年には DNGM と UNDP による土壌地化学探査とピット・トレンチ調査が行われた。1987 年、BHP 社はマリ政府とジョイント・ベンチャー契約を結び、当地区における積極的な探鉱を開始し、その結果、鉱量 22.5Mt，金量 88.5t，平均品位 3.9g/t Au の大規模金鉱床を発見した。その後、Syama Extension，Banaso などの衛星鉱床の発見もあり、鉱量はさらに増加した。1990 年から露天掘りによる採掘が開始され、1997 年までに 24t の金が生産されている。1996 年以降は SOMISY 社(Randgold 社

が 65%、DNGM が 20%、IFC が 15%を出資)により操業され、2002 年に休山となった。ている。鉱床母岩は Birimien 累層群の安山岩、玄武岩およびチャートからなり、金鉱化帯は走向南北、西傾斜 70 度、幅 20~40mの剪断破碎帯中に発達する。当破碎帯には、炭酸塩化、アルバイト化、セリサイト化及び黄鉄鉱の鉱染が広く認められ、このなかで、金は鉱染状の自然金として産出する。

Morila 鉱床 : Kékoro 地域の南東約 30km に位置する。1950 年代にはフランスが、1970 年代にはフランスと SONAREM が、1984~1987 年にはマリ・ベルギーがそれぞれ土壌地化学探査と鉱徴地調査を実施し、数箇所の地化学異常と断裂帯を発見した。1992 年には BHP 社が Morila 鉱区を取得し、ボーリング調査、ピット調査、VLF 調査、IP 調査を実施した。その結果、数箇所の硫化物鉱染帯と IP 異常帯を抽出した。1996 年以降は Randgold 社が鉱区権益を受け継ぎ、1997 年に大規模な金鉱床を発見するに至った。資源量は金量 150t (平均品位 4-6g/t Au)である(DNGM, 2001: 内部資料)。2002 年の金生産量は 38.9t で、マリ国最大の産金量をほこり、また世界有数の低コスト金鉱山として注目されている。金は Birrimien 累層群のワッケ質砂岩中又は黒雲母片岩中の黄鉄鉱-硫砒鉄鉱鉱染帯に、細粒の鉱染状自然金として産する。母岩の片理面に平行な石英細脈が少量認められる。

第4章 調査地域の探鉱経緯

4-1 探査経緯

バオレ・バニフィング地域周辺における 1970 年以降の探査史の概略を以下に示し、Fig.I-4-1 に探鉱経緯図を示す。

- 1970-1972 年 SONAREM (Societe Nationale de Recherches et d'Exploitation miniere) が Bougouni 地域でペ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。
- 1972-1974 年 BRGM (Bureau de Recherches Geologiques et Minieres) が Bougouni-Sikaso 地域 (調査面積 30,000km²) で Cu, Ni, Pb, Zn, Sn, Li, Nb, Ta を主目的とした地質調査(一部地化学探査)を実施。
- 1980-1990 年 UNDP(United Nations Development Program)がマリ共和国南部(調査面積 25,000km²)で金鉱床探査を目的とした広域地化学探査を実施。
- 1991-1994 年 国際協力事業団・金属鉱業事業団が Bougouni 地域(調査面積 14,000km²)で金鉱床探査を目的とした地化学探査を実施。
- 1998-2000 年 国際協力事業団・金属鉱業事業団が Kékoro-Baoulé-Banifing 地域(調査面積 7,000km²)で金鉱床探査を目的とした地化学探査、ボーリング調査を実施。

4-2 1998 年～2000 年の調査結果の概要

Fig. I -4-1 に Kékoro-Baoulé-Banifing 地域における 1998～2000 年の調査概要図を示し、Table I -4-1 にその調査結果概要を示す。

Table I-4-1 Exploration results in1998 to 2000

	1998 年度	1999 年度	2000 年度
調査項目	<ul style="list-style-type: none"> ・ Landsat 画像解析 ・ 地質調査 ・ 地化学探査 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地形図作成 ・ 地質調査 ・ 地化学探査 ・ ピット調査 ・ RC ボーリング調査 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 電気探査 (IP 法) ・ RC ボーリング ・ コアボーリング
調査結果	地化学探査の結果,Kekoro 地区から北西方向に伸びる 3 列の明瞭な Au 地化学異常が発見された。この中で Kekoro 地区, Sagala 地区等を精査地区として抽出した。	調査の結果, Kekoro F, Kekoro A 北部, Sagala 南部及び Sagala 北部の Au 地化学異常帯が特に有望であると結論付けられた。	調査はKékoro A 地区と Sagala 地区の 2 地区で実施され、両地区において 1g/t Au 以上の鉱化帯が認められた。金は鉱染状黄鉄鉱や硫砒鉄鉱を多量に伴う変堆積岩や、花崗閃緑岩岩体中の石英細脈中に産することが明らかとなった。

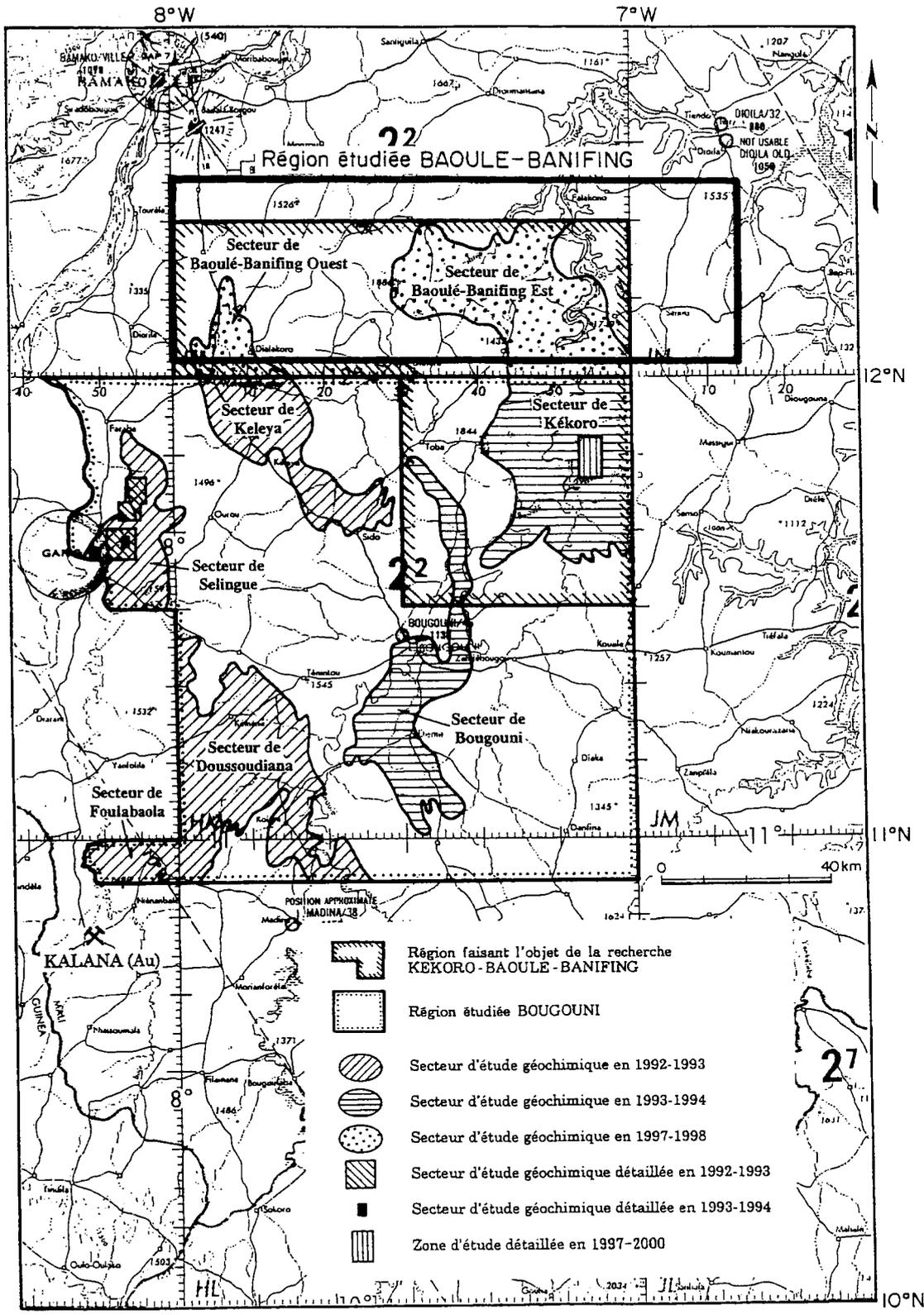


Fig.I-4-1 Exploration history