

155-2-1

御製 皇極經世一書

皇極經世一書

皇極經世一書

皇極經世一書

JICA LIBRARY



J 1152747 (0)

マリ共和国 ケコロ・バオレーバニフィング地域

資源開発協力基礎調査報告書

第 2 年 次

平成11年 3 月

国際協力事業団
金属鉱業事業団



1152747(0)

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ケコロ・バオレーバニフィング地域の鉱物資源賦存の可能性を確認するための地質調査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9年度を第1年次とする第2年次調査にあたり、金属鉱業事業団は5名の調査団を平成11年1月17日から平成10年3月14日まで現地に派遣した。

現地調査は、マリ共和国政府機関およびマリ共和国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、在セネガル国日本国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11年3月

国際協力事業団
総裁 藤田 公郎

金属鉱業事業団
理事長 桧山 博昭

要 約

本調査は、マリ共和国ケコロ・バオレ・バニフィング地域資源開発協力基礎調査の第2年次にあたり、Kékoro 西部地区、Kékoro 東部地区および Sagala 地区の3地区を対象に調査が実施された。調査手法は、地形図作成、地表踏査、ピット調査、地化学探査およびRCボーリング調査からなる。

調査の結果、Kékoro F、Kékoro A 北部、Sagala 南部および Sagala 北部地化学異常帯の4地区が、特に有望な地区として抽出された。

Kékoro F 地化学異常帯は Kebekourou 山の山頂付近に位置する。100ppb Au 以上の地化学異常は、南北 600m×東西 600m の規模を有する。深度 5m、計 32 孔のピット調査によれば、サブロライト中の金品位は 0.1~0.5g/t Au を示し、高品位部では 1.3~7.2g/t Au を示す。地表下 5m 以深の鉱化状況は不明である。第3年次調査では、磁気探査と垂直コアボーリングを実施することが望ましい。特に、Birrimien 累層群とドレライト岩床の境界面深度を正確に把握することは、資源ポテンシャルを推定する上で不可欠である。

Kékoro A 北部地化学異常帯は Kebekourou 山の南側山麓に位置する。100ppb Au 以上の地化学異常は、南北 1,200m×東西 1,000m の規模を有する。地表では、硫化鉱物の鉱染を受けた変砂岩、硫化鉱物の鉱染と強い珪化を受けたデイサイト転石、さらに石英の転石が認められる。これらの転石は一般に 0.2~0.4g/t Au であるが、一部の転石は 2.5g/t Au~19.4g/t Au を示す。第3年次調査では、IP 探査、垂直RCボーリングおよびコアボーリングを実施することが望ましい。特に、原位置での金鉱化作用と、二次的に再移動した金に富むラテライトを識別することが重要である。

Sagala 地区南部と Sagala 地区北部の地化学異常帯は、Dogo 集落の北東約 16km に位置する。60ppb Au 以上の地化学異常は、南部異常帯で南北 1,500m×東西 1,500m、北部異常帯で南北 1,500m×東西 1,000m の規模を有する。各々の異常帯の中央部は数百 ppb Au を示し、1,000ppb Au を越える地点も双方あわせて 18 箇所到達する。金鉱化作用は、硫化鉱物の鉱染を受けた変砂岩中に生じている可能性が大きい。地表はラテライト皮殻とその風化土壌に厚く覆われているため、基盤の断裂系と金鉱化帯を確認する目的で、IP 探査、垂直RCボーリングおよびコアボーリングを実施することが望ましい。特に、花崗閃緑岩岩株に金鉱化作用が及んでいるか否か、さらに、鉱化を規制する断裂系や硫化鉱物鉱染帯が存在するか否かを確認し、この地区の資源ポテンシャル推定の基礎資料とすべきである。

目次

はしがき

要約

第1部 総論

第1章 調査概要	1
1-1 調査目的	1
1-2 調査地域	1
1-3 調査内容	1
1-4 現地調査期間	1
1-5 調査団の編成	1
第2章 地勢	5
2-1 位置・交通	5
2-2 気候・植生	5
2-3 地形	5
2-4 ラテライトの産状	7
第3章 マリ南西部の地質と金鉱床の概要	11
3-1 地質の概要	11
3-2 金鉱床の概要	14
3-3 Syama 鉱床の見学結果報告	20
3-4 Morila 鉱床の見学結果報告	27
第4章 調査地域の探鉱経緯	31
4-1 探査経緯	31
4-2 第1年次調査結果の概要	31
第5章 第2年次調査結果の概要	37
5-1 Kékoro 西部地区	37
5-2 Kékoro 東部地区	39
5-3 Sagala 地区	40
5-4 第3年次調査への提言	42

第2部 各 論	
第1章 Kékoro 西部地区	45
1-1 地 質	45
1-2 鉱徴地	50
1-3 ピット調査結果	53
1-4 RCボーリング調査結果	59
1-5 地化学探査結果	68
第2章 Kékoro 東部地区	93
2-1 地 質	93
2-2 ピット調査結果	99
2-3 地化学探査結果	102
第3章 Sagala 地区	111
3-1 地 質	111
3-2 ピット調査結果	117
3-3 地化学探査結果	120
第3部 結論と提言	
第1章 結 論	133
第2章 第3年次調査への提言	135
参考文献	142
巻末資料	

本文内挿入図

Fig.I-1-1	Localisation des régions faisant l'objet de la recherche	2
Fig.I-2-1	Climat et végétation	6
Fig.I-2-2	Profil schématique de latérite dans le secteur de Sagala	8
Fig.I-2-3	Exemples de profil d'altération schématique, profil de latérite, géochimie à la savane de l'Afrique occidental	9
Fig.I-3-1	Esquisse géologique du sud-ouest du Mali	12
Fig.I-3-2	Coupe schématique de géologie en Région de Kékoro-Baoulé-Banifing	13
Fig.I-3-3	Distribution des zones minéralisées dans la région de la présente recherche et à son voisinag	17
Fig.I-4-1	Recherches antérieures dans la région et les zones minéralisées	19
Fig.I-4-2	Distribution des anomalies géochimiques dans les régions de Kékoro et Baoulé-Banifing ..	33
Fig.II-1-1	Plan géologique du Secteur de Kékoro Ouest	47
Fig.II-1-2	Profile géologique du Secteur de Kékoro Ouest	49
Fig.II-1-3	Localisation des sites de puits de Kékoro Ouest	55
Fig.II-1-4	Localisation des sites de puits de Kékoro F	57
Fig.II-1-5	Géochimie d'élément trace par rapport à la profondeur au KPIT-31 dans le secteur Kékoro Ouest	58
Fig.II-1-6	Localisation des sites de sondages de Kékoro Ouest	61
Fig.II-1-7	Coupe en travers de la ligne 250 dans le secteur Kékoro Ouest	63
Fig.II-1-8	Coupe en travers de la ligne 500 dans le secteur Kékoro Ouest	65
Fig.II-1-9	Géochimie d'élément trace par rapport à la profondeur au KRC-4 dans le secteur Kékoro Ouest.....	67
Fig.II-1-10	Points de prélèvement d'échantillon de sols, Kékoro Ouest	73
Fig.II-1-11	La distribution et l'analyse des fréquences cumulées, Kékoro Ouest	75
Fig.II-1-12	Distribution des anomalies géochimiques, Kékoro Ouest	81
Fig.II-1-13	Carte d'interprétation de Kékoro Ouest	89
Fig.II-2-1	Plan et profile géologiques du Secteur de Kékoro Est	95
Fig.II-2-2	Points de prélèvement d'échantillons de roches, Kékoro Est	97
Fig.II-2-3	Localisation des sites de puits de Kékoro Est	100

Fig.II-2-4	Géochimie d'élément trace par rapport à la profondeur au KPIT-51 dans le secteur Kékoro Est	101
Fig.II-2-5	Points de prélèvement d'échantillon de sols, Kékoro Est	103
Fig.II-2-6	La distribution et l'analyse des fréquences cumulées, Kékoro Est	104
Fig.II-2-7	Distribution des anomalies géochimiques, Kékoro Est	109
Fig.II-3-1	Plan et profil géologiques du Secteur de Sagala	115
Fig.II-3-2	Localisation des sites de puits de Sagala	118
Fig.II-3-3	Géochimie d'élément trace par rapport à la profondeur au SPIT-8 dans le secteur Sagala	119
Fig.II-3-4	Points de prélèvement d'échantillon de sols, Sagala	121
Fig.II-3-5	La distribution et l'analyse des fréquences cumulées, Sagala	122
Fig.II-3-6	Distribution des anomalies géochimiques, Sagala	127
Fig.II-3-7	Carte d'interprétation de Sagala	131
Fig.III-2-1	Proposition pour l'étude à venir dans la Secteur de Kékoro Ouest	139
Fig.III-2-2	Proposition pour l'étude à venir dans la Secteur de Sagala	141

本文内挿入表

Tableau I-1-1	Rubriques d'études réalisées	3
Tableau I-1-2	Composition de la mission d'étude	4
Tableau I-2-1	Température, humidité et précipitation à Bamako	6
Tableau I-3-1	Corrélation de stratigraphie	11
Tableau II-1-1	Liste des zones minéralisées du Secteur Kékoro Ouest	51
Tableau II-1-2	Valeurs statistiques pour chaque éléments, Kékoro Ouest	76
Tableau II-1-3	Valeurs de seuil de classement des anomalies, Kékoro Ouest	76
Tableau II-1-4	La matrice de corrélation, Kékoro Ouest	77
Tableau II-1-5	Analyse des composantes principales, Kékoro Ouest	77
Tableau II-1-6	Valeurs statistiques pour chaque éléments de Kékoro Ouest (géochimie détaillée)	78
Tableau II-1-7	Valeurs de seuil de classement des anomalies de Kékoro Ouest (géochimie détaillée)	78
Tableau II-1-8	La matrice de corrélation de Kékoro Ouest (géochimie détaillée)	79

Tableau II-1-9	Analyse des composantes principales de Kékoro Ouest (géochimie détaillée)	79
Tableau II-2-1	Valeurs statistiques pour chaque éléments, Kékoro Est	106
Tableau II-2-2	Valeurs de seuil de classement des anomalies, Kékoro Est	106
Tableau II-2-3	La matrice de corrélation, Kékoro Est	107
Tableau II-2-4	Analyse des composantes principales, Kékoro Est	107
Tableau II-3-1	Valeurs statistiques pour chaque éléments, Sagala	124
Tableau II-3-2	Valeurs de seuil de classement des anomalies, Sagala	124
Tableau II-3-3	La matrice de corrélation, Sagala	125
Tableau II-3-4	Analyse des composantes principales, Sagala	125
Tableau III-2-1	Proposition pour l'étude à venir(3erd phase) dans la régions de Kékoro et Banifing-Baoulé	137

卷末資料

Apc.1	Croquis des puits de KPIT-1 à KPIT-58 et de SPIT-1 à SPIT-11	a- 1
Apc.2	Présentation de calendrier de l'exécution des sondages	a- 53
Apc.3	Caractéristique des machines utilisées	a- 53
Apc.4	Consommation de matières au cour de l'exécution des sondages	a- 53
Apc.5	Colonne des sondages de KRC-1 à KRC-16	a- 57
Apc.6	Résultat d'observation microscopique en lames minces	a-101
Apc.7	Résultat d'observation microscopique en lames polies	a-137
Apc.8	Résultat de diffraction des Rayons X	a-155
Apc.9	Résultat des mesures de la température d'homogénéisation et de congélation	a-159
Apc.10	Résultat d'analyse chimique des roches minerais	a-165
Apc.11	Résultat d'analyse chimique des sols	a-181

別添図

- Ct 1 Plan géologique du Secteur de Kékoro Ouest
- Ct 2 Profile géologique du Secteur de Kékoro Ouest
- Ct 3 Points de prélèvement d'échantillons de roches du Secteur de Kékoro Ouest
- Ct 4 Plan et profile géologiques du Secteur de Sagala
- Ct 5 Points de prélèvement d'échantillons de roches du Secteur de Sagala

第 1 部 総 論

第 1 章 調査概要

1-1 調査目的

本調査は、マリ共和国ケコロ・バオレ・バニフィング地域において地質状況および鉱床賦存状況を解明することにより、新鉱床を発見することを目的とする。また、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

ケコロ・バオレ・バニフィング地域は、首都バマコの南東約50km～100kmのBaoulé川とBanifing川の流域に位置する。当地域は、北緯12°00'以南のKékoro地域と、北緯12°00'以北のBaoulé-Banifing地域からなる。今年次(第2年次)は、第1年次調査によって抽出されたAu鉱化帯のうち、Kékoro西部地区、Kékoro東部地区およびSagala地区の3地区で調査が実施された。Kékoro西部地区とKékoro東部地区はKékoro地域に、Sagala地区はBaoulé-Banifing地域に含まれる。調査位置をFig.I-1-1に示す。

1-3 調査内容

Kékoro東部地区とSagala地区で、地質調査・地化学探査・ピット調査を実施した。またKékoro西部地区では、地質調査・地化学探査・ピット調査に加え、RCボーリング調査を実施した。調査内容と数量の詳細をTableau I-1-1に示す。

1-4 現地調査期間

1999年1月17日～1999年1月20日 東京→パリ→ダカール→バマコ(移動)

1999年1月20日～1999年3月10日 現地調査

1999年3月10日～1999年3月14日 バマコ→ダカール→パリ→東京(移動)

1-5 調査団の編成

調査団名簿をTableau I-1-2に示す。

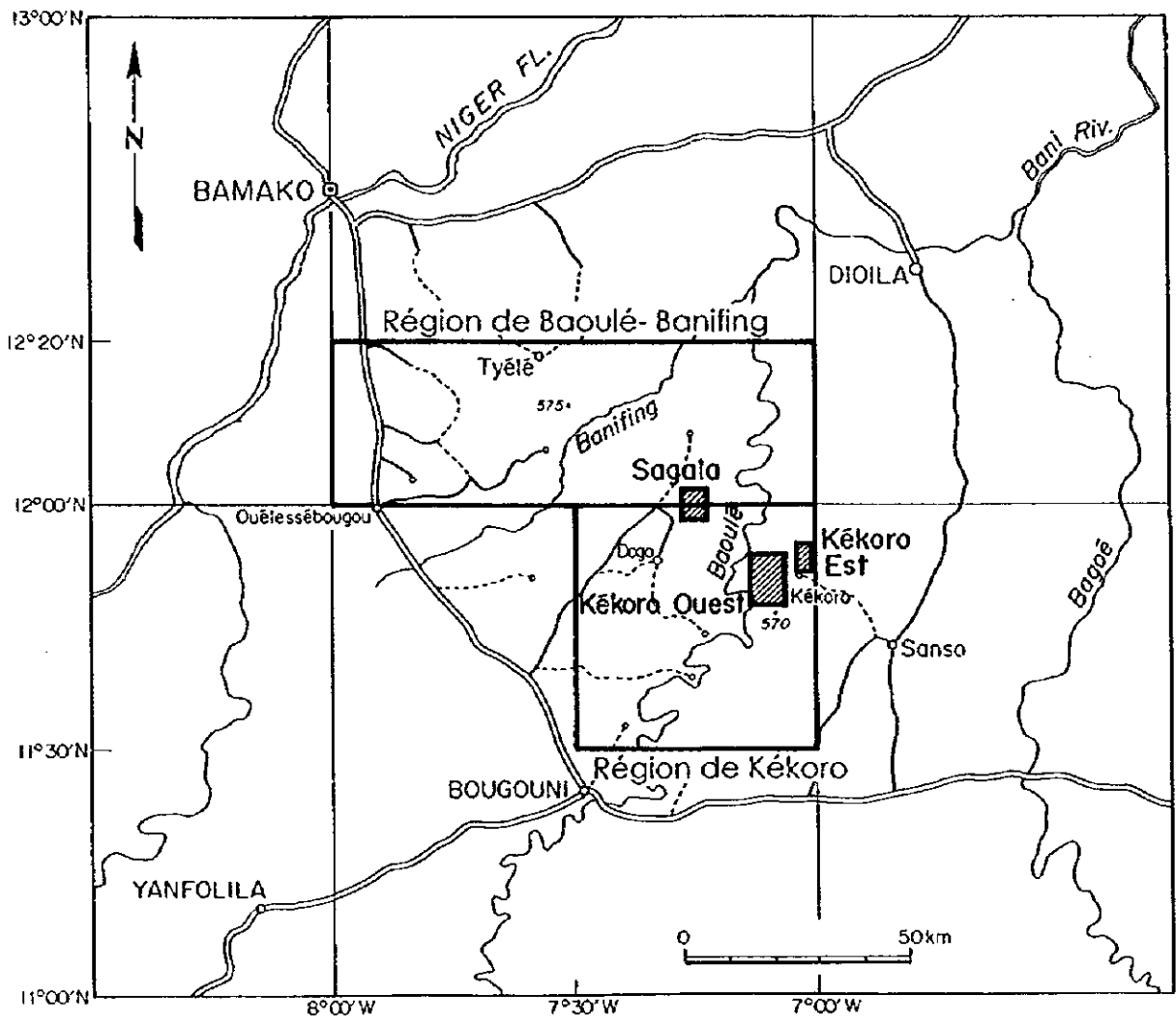
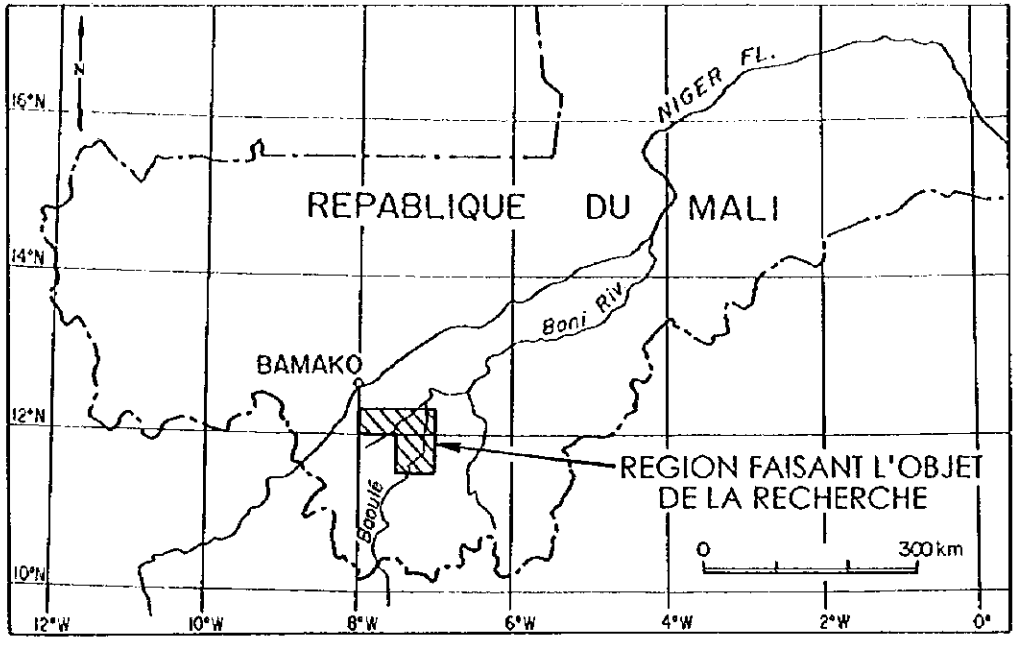


Fig. I - 1-1 Localisation des régions faisant l'objet de la recherche

Tableau I-1-1 Rubriques des études réalisées

Secteur	Rubriques	Quantité
Kékoro Quest	1. Cartographie topographique	à forfait
	2. Etude géologique	à forfait
	3. Etude géochimique Mise en place des sous-lignes Nombre d'échantillons	182.0 km 2383 échantillons
	4. Levés aux puits Nombre de puits Longueur totale	48 puits 241 m
	5. Forage à circulation inverse Nombre de trou de forage Longueur totale	16 trous 1259m
Kékoro Est	1 Cartographie topographique	à forfait
	2 Etude géologique	à forfait
	3 Etude géochimique Mise en place des sous-lignes Nombre d'échantillons	10.4 km 217 échantillons
	4 Levés aux puits Nombre de puits Longueur totale	9 puits 42 m
Sagala	1 Etude géologique	à forfait
	2 Etude géochimique Mise en place des sous-lignes Nombre d'échantillons	59.75 km 1216 échantillons
	3 Levés aux puits Nombre de puits Longueur totale	11 puits 56 m
Etude au laboratoire (géologique et géochimique)	1. Lame mince	60 échantillons
	2. Section polie	19 échantillons
	3. Inclusion fluid	8 échantillons
	4. Analyse par rayon X	26 échantillons
	5. Datation (K-Ar)	15 échantillons
	6. Datation (Ar-Ar)	1 échantillons
	7. Analyse chimique des roches	135 échantillons
	8. Analyse chimique des sols (géochimique)	3816 échantillons
	9. Analyse chimique des sols (puits)	339 échantillons
Etude au laboratoire (Forage à circulation inverse)	1. Lame mince	16 échantillons
	2. Section polie	20 échantillons
	3. Analyse par rayon X	32 échantillons
	4. Analyse chimique des roches	1259 échantillons

Tableau I-1-2 Composition de la mission d'étude

Contrepartie Japonaise		Contrepartie Malienne	
La mission pour négociation			
	Naguno, Makoto (MMAJ)		Ibrahim Abba Kantao (DNGM)
	Nishikawa, Nobuyasu (MMAJ)		Ibrahima Sissoko (DNGM)
	Fujii, Noboru (MMAJ)		Fatiaga Kone (PDRM)
			Hachimi B. Sidibe (DNGM)
L'équipe pour l'étude			
Chef	:Shibuya, Akitsura (SCC)	Chef	:Emmanuel Thera (DNGM)
Géologue	:Nagao, Takaaki (SCC)	Géologue	:Lassana Guindo (DNGM)
Géologue	:Ishii, Masahiro (SCC)	Géologue	:Mohamed Coulibali (DNGM)
Géologue	:Koji, Ueda (SCC)	Géologue	:Karanonko Berthe (DNGM)
Géologue	:Ohno, Michiharu (SCC)	Géologue	:Alphonse Kone (DNGM)

MMAJ: Metal Mining Agency of Japan

DNGM: Direction Nationale de la Géologie et des Mines

PDRM: Programme pour le Développement des Ressources Minérales

SCC: Sumiko Consultants Co., Ltd.

第2章 地勢

2-1 位置・交通

ケコロ・バオレ・バニフィング地域は、首都バマコの南東約50km～100kmのBaoulé川とBanifing川の流域に位置し、総面積約7000 km²を有する。当地域西部では、BamakoとBougouniを結ぶ国道7号線が南北に走っている。

Kékoro西部地区は、ケコロ・バオレ・バニフィング地域東端のKékoro集落の西約6kmに位置し、Baoulé川右岸にあたる。首都バマコからは、国道7号線を南下した後、Sido集落、Bougouni市、Kouale集落、Sanso集落およびKékoro集落を経てKékoro西部地区に至る。バマコからの総距離は約310kmで、四輪駆動車両で6.5時間を要する。Kékoro東部地区は、Kékoro西部地区の北東約5kmに位置する。両地区の調査の際には、Sanso集落にキャンプを設置した。

一方、Sagala地区は、ケコロ・バオレ・バニフィング地域中央のDogo集落の北東約16km、Baoulé川左岸に位置する。首都バマコからは、国道7号線を南下した後、Sido集落とDogo集落を経てSagala地区に至る。総距離は約200kmで、四輪駆動車両で5時間を要する。調査の際には、Dogo集落にキャンプを設置した。Sagala地区とKékoro西部・東部地区の直線距離は約25kmと短いですが、車両で移動する際には、Bougouni市経由の総延長距離240km(所要時間約5.5時間)の回り道をする必要がある。

2-2 気候・植生

調査地域のマリ南部の気候はサバンナ帯に属す。3月～5月は暑く乾燥し、5月～11月は高温多湿、11月～3月は涼しく乾燥している。1月～3月は夜間と明け方の冷え込みが厳しく、日中の気温差は24～40℃に達する。年平均降水量は1,400mm前後で、降水の大半は5月から10月の雨季に集中する。Tableau I-2-1に首都バマコの月別平均気温、平均湿度および降水量を示す。

植生はスーダン帯に属し、疎らな森林と背の高い草が地表全面を覆っている。ラテライト皮殻に覆われた台地では、植生が極端に乏しい。Fig. I-2-1にマリの気候・植生図を示す。

2-3 地形

調査地域は標高300m～350mのゆるやかな高原からなり、比高差20m～30mの小規模なテーブル状台地がその中に多数散在する。南から北に向かって流れるBaoulé川とBanifing川は、地域内で多くの支流を形成し、雨季には、これら河川の大部分が湛水する。

地形的に特異なのはKékoro西部地区である。同地区の周囲には比高100～200mの山塊(Kebekourou, Kouloubie, Kolobokourou, Seridjekourou)が環状に配列し、直径10kmの円形構造を形成している。Kékoro西部地区の金採掘跡の多くは、この円形構造の内側の盆地に分布するが、一部の採掘跡(Kékoro F 鉱徴地)は山塊の頂部に位置する。

Tableau I-2-1 Température, humidité et précipitation à Bamako

	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

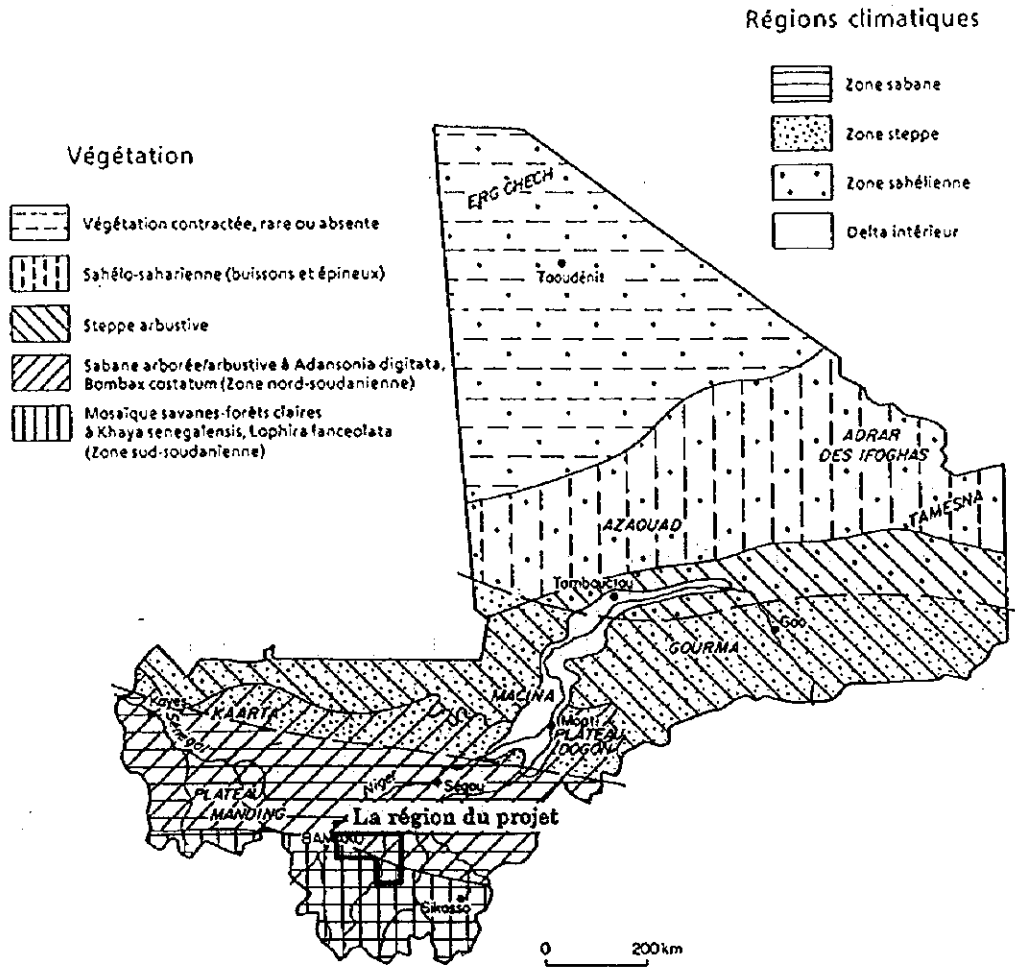


Fig.I-2-1 Climat et végétation

2.4 ラテライトの産状

本報告書では、高温・多湿の熱帯地方で生じる特徴的な土壌化作用、すなわち岩石の風化作用と鉄・アルミナ富化作用、さらにこれに伴う他の化学成分の溶脱・移動・濃集の全過程をラテライト化作用 (latéritisation) と呼称する。また、このラテライト化作用で生じたキュイラス (cuirasse)、カラパス (carapace)、斑紋帯 (argile trachetée, mottled clay zone) およびサプロライト (saprolite) 全体をラテライト (latérite) と総称する。一般に、地表から地下の岩盤に向い、キュイラス、カラパス、斑紋帯、サプロライトの順に成層し、それぞれ漸移的に変化する。

キュイラスは、調査地に散在するテーブル状の台地の頂部に分布し、その層厚は 1m~3m であることが多い。一般に黒色~赤褐色のゲーサイトおよびヘマタイトからなる魚卵状ノジュールを多量に含み、基質は鉄・アルミナ水酸化物で完全にセメント化している。全体に暗褐色を呈し、ツルハシでやっとな砕けるほど硬い。キュイラスの上部数 10cm は鉄石 (ferricrete) と呼ばれ、きわめて硬い黒色のセメント物質のみから構成され、ノジュールを含まない。

カラパスは、キュイラスと同様にゲーサイトおよびヘマタイトからなる魚卵状ノジュールを含み、基質は赤褐色の粘土物質からなり、セメント化は強くない。上位のキュイラスとの境界付近はノジュール量が多く、その基質はやや硬質になっている。下位の斑紋帯との境界付近はノジュール量が少なく、その基質には少量の白色粘土が認められる。カラパスは、調査地域全域に広く露出する。ピット調査によれば、カラパスの層厚は Kékoro 西部地区と Kékoro 東部地区で 3m~5m、Sagala 地区で 5m 以上であることが多い。

斑紋帯は、鉄・アルミナ水酸化物からなる径 1cm 前後の褐色の斑紋が白色粘土中に散在するもので、一般に、カラパスとサプロライトの中間に産出する。ピット調査結果によれば、層厚は Kékoro 西部地区と Kékoro 東部地区で 0.5m~3m である。また、斑紋帯を欠き、カラパスの下位に直接サプロライトが認められる場合もある。Sagala 地区では、斑紋帯の産出深度が一部の例外を除いて深いため、ピット調査では層厚を確認できなかった。

サプロライトは、褐色、帯紫褐色または灰白色を呈する塊状・均質かつ軟質の風化岩で、カオリナイトあるいはモンモリロナイトに富み、一般に斑状組織や片状構造等の原岩組織・構造が残存している。Kékoro 西部地区のピット調査と RC ボーリング調査によれば、サプロライトの上面深度 (出現深度) は 5m 前後、下底深度は 30m~40m を示す。Kékoro 東部地区と Sagala 地区では RC ボーリングを実施していないため下底深度は不明であるが、ピット調査によれば、上面深度は Kékoro 東部地区で 5m 前後、Sagala 地区で 5m 以上を示した。

Bowell et al. (1996) は、機械的拡散と地下水の水理的拡散により、初生的な鉱化帯の Au がラテライト中を水平方向と垂直方向に移動し、二次的な Au 濃集帯を形成することを指摘した。さらに、西アフリカのいくつかの Au 鉱床において、キノコ状の大規模な二次的 Au 濃集帯がサプロライト下部に生じている例を示した。もし、このような大きな Au 濃集帯がこの調査地域のラテライトの下部にも存在するならば、それは今後の最も重要かつ有用な探鉱ターゲットになるものと期待される。

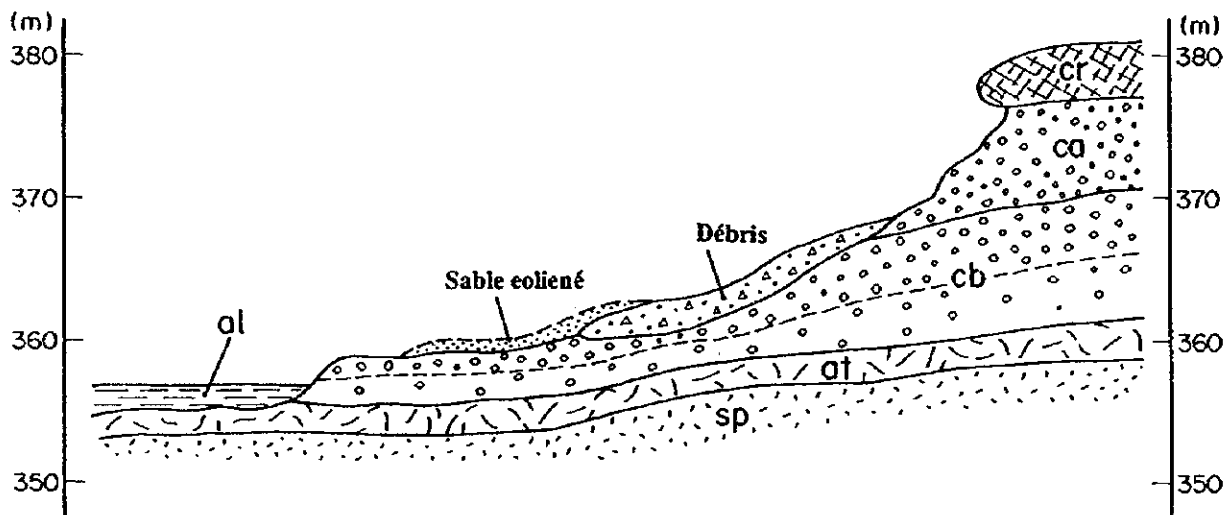
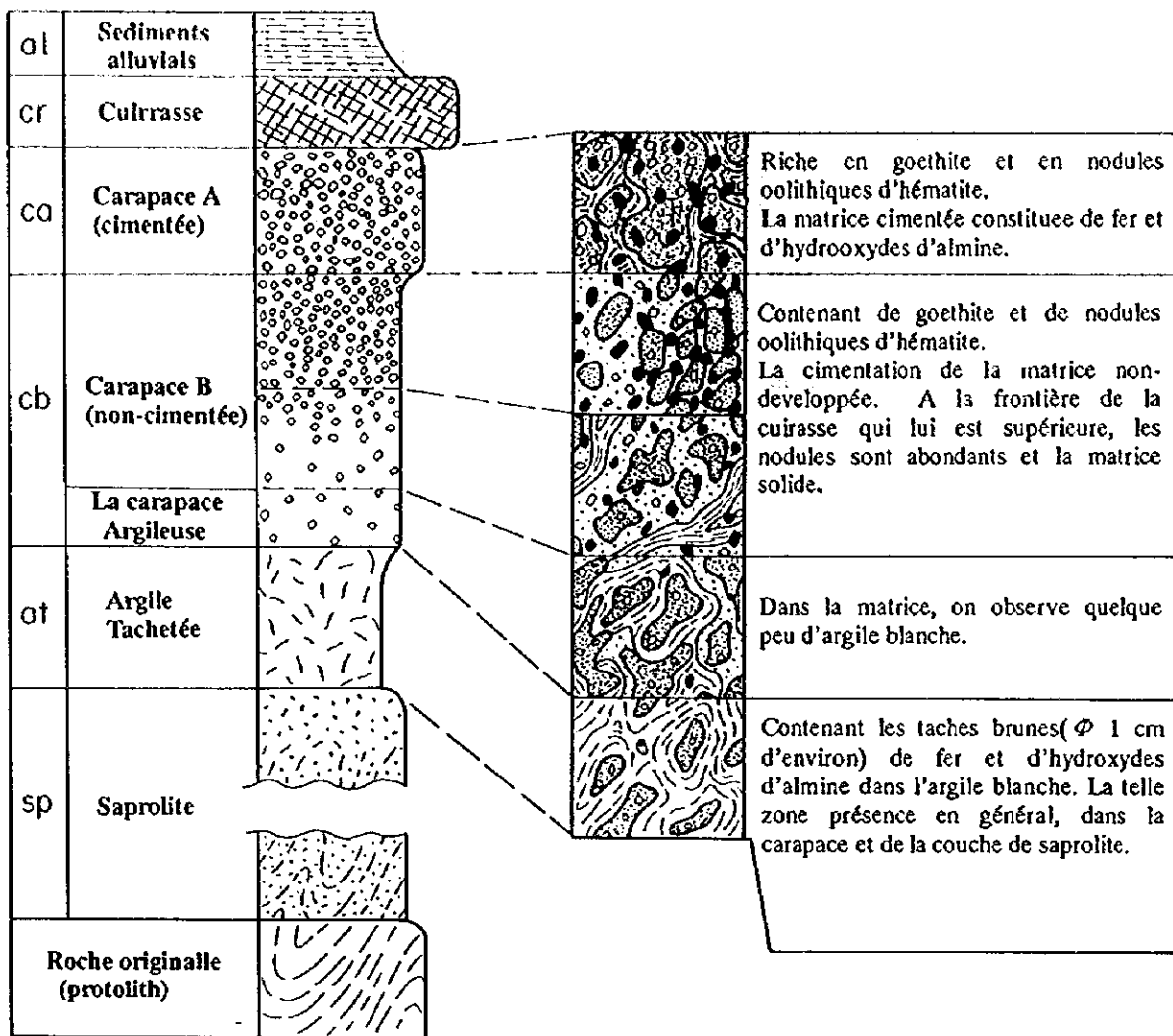
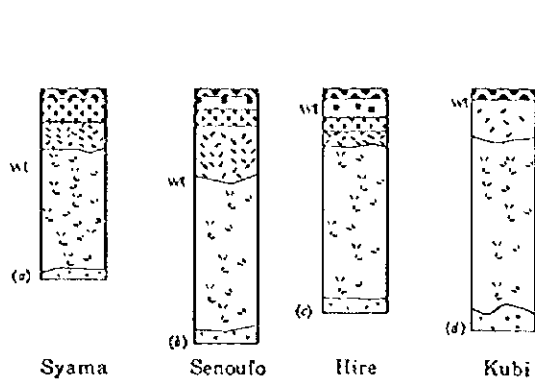


Fig.1-2-2 Profil schématique de latérite dans le secteur de Sagala

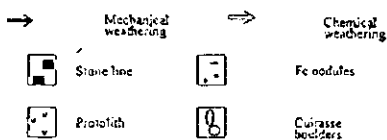
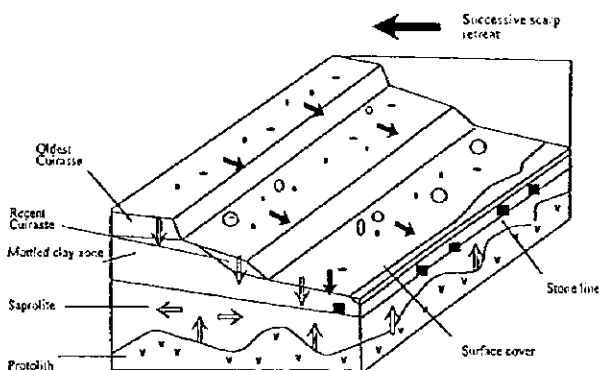
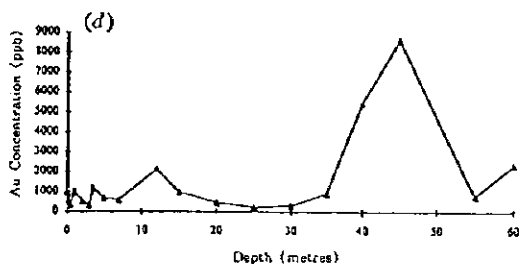
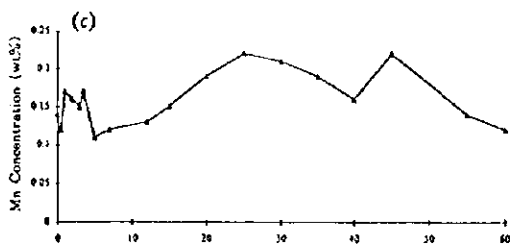
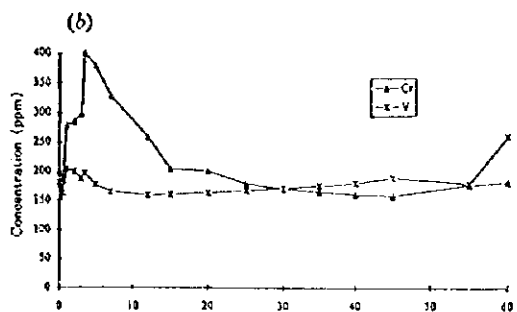
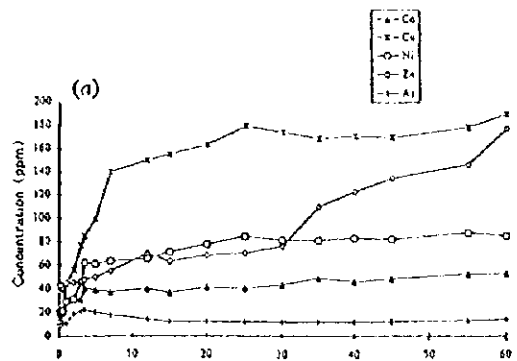


wt Water table



(A) Different horizons of tropical weathering profile.

(a) Syama mine, Mali; (b) Yvette prospect, Senoufo concession, Côte d'Ivoire; (c) Agbaou prospect, Hire concession, Côte d'Ivoire; (d) Kubi prospect, Ghana (from Bowell and others, 1996)



(B) Schematic representation of laterite weathering profile typical of West African savanna (Butt and Zeegers, 1992, Bowell and others, 1996)

(C) Trace element geochemistry versus depth at Syama mine.

(a) Co, Cu, Ni and As; (b) Cr and V; (c) Mn; (d) Au. soil log ornament as in (A) (Bowell and others, 1996)

Fig.I-2-3 Exemples de profil d'altération schématique, profil de latérite, géochimie à la savane de l'Afrique occidentale

第3章 マリ南西部の地質と金鉱床の概要

3-1 地質の概要

西アフリカにおける主要な変動は、先カンブリア紀の4回の造山運動からなる。これらはリンボポ-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)および汎アフリカ造山(6±2億年前)である。リベリア剛塊北部の西アフリカ・クラトンには、原生代前期に形成され、エブルニア造山時の変成・変形を受けたとされる Birrimien 累層群と、これを貫くバソリス状花崗岩類が広く分布する。Birrimien 累層群は、幅数 10km、長さ数 100km の細長いベルト状に分布し、一般に弱い変成(緑色片岩相)を受けている。Milési (1992)は、火山岩類(変玄武岩、安山岩、凝灰岩)に富む上部 Birrimien と、堆積岩類(片岩、アルコーズ砂岩、グレーワッケ)に富む下部 Birrimien に区分した。

ケコロ・バオレ・バニフィング地域周辺の Birrimien 累層群は Milési (1992)の上部にあたり、幅 20~70km、長さ150km以上にわたり、NNE-SSW 方向に延長する複数のシンフォームを形成している。Birrimien 累層群は東から西へ向って Bagoé 帯、Bougouni-Kékoro 帯、Yanfolila 帯および Kangaba 帯の4帯に分けられる。

Tableau I-3-1 Corrélation de stratigraphie

	Ghana	Côte d'Ivoire	Liptako, NE Haute Volta, and W Niger
c. 2030 Ma	Tarkwaian { Huni formation (quartzites and phyllites) Tarkwa formation (phyllites) Banket formation (quartzites and conglomerates) Kewese formation (conglomerates)	Windéné granite and Boudoukou type granites	Epizonal sediments of the Amarasinde and Bellekoine formations — the Liptakoian
		Kinkéné series	
c. 2130 Ma	~~~~~	Eburnian II ~~~~~ ?	~~~~~
	Upper Birrimian { Syntectonic and intrusive granitoids Basic volcanic formation Acid volcanic formation Volcanic arenaceous formation	Baoulé type granites Volcano-clastic formation de Louga = Séries de Inahiri	Granitoids Mesozonal metamorphites of the Dibirshi and Tambao formations
c. 2270 Ma	local unconformity ~~~~~	Eburnian I ~~~~~	
	Lower Birrimian { Upper arenaceous formation (sandy flysch) Upper argillaceous formation (pelitic flysch) Middle arenaceous formation (sandy-pelitic flysch) Lower argillaceous formation Lower arenaceous formation	Orthogneissified granitoids Flyschoid formation de Kounoukou and Doulayeko paragneiss	
+2600 Ma	?	~~~~~ ? Niéga-Pauli Plage gneissified granite Monogaga paragneiss	~~~~~ ? Pre-Birimian crystalline basement

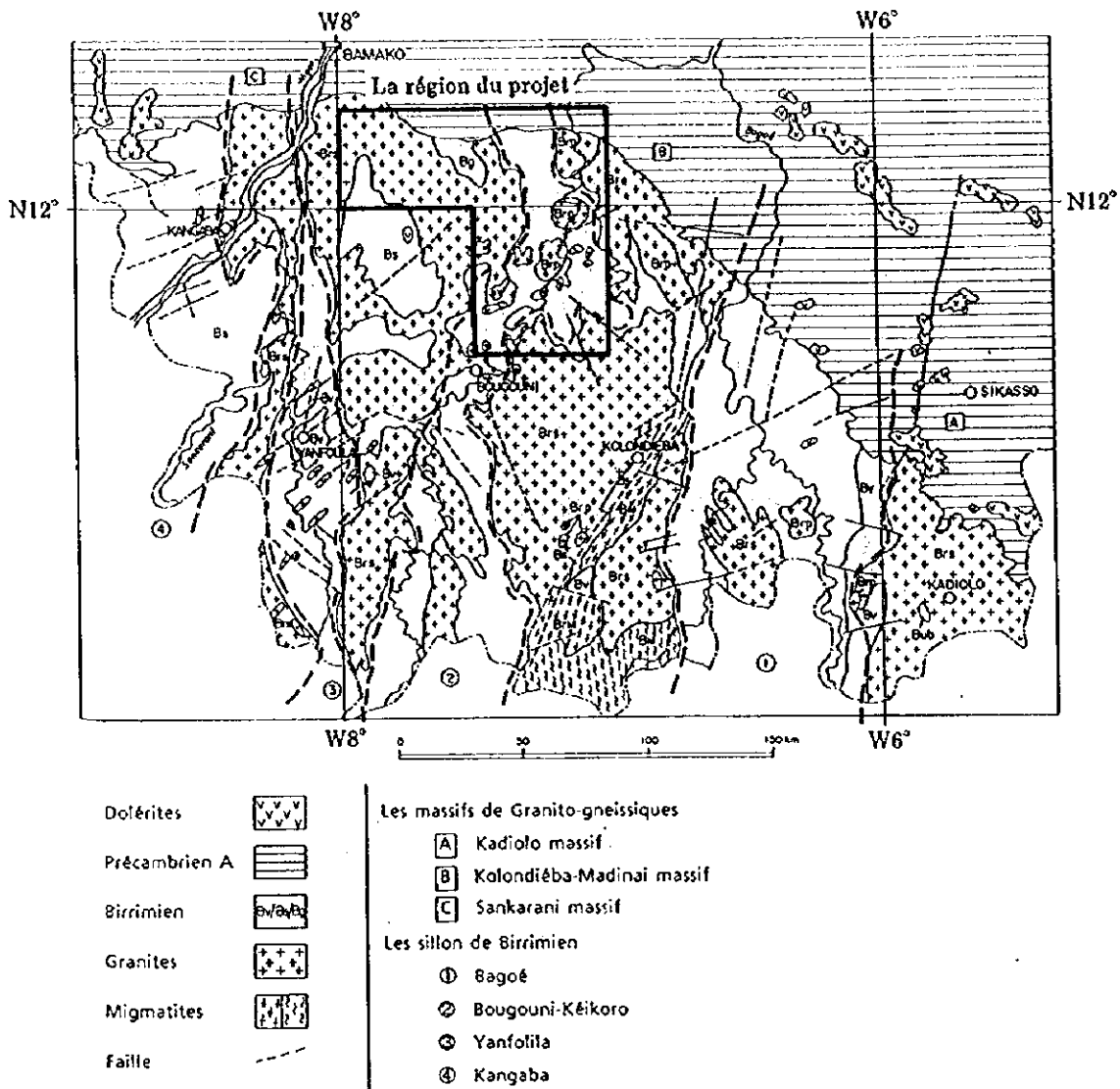
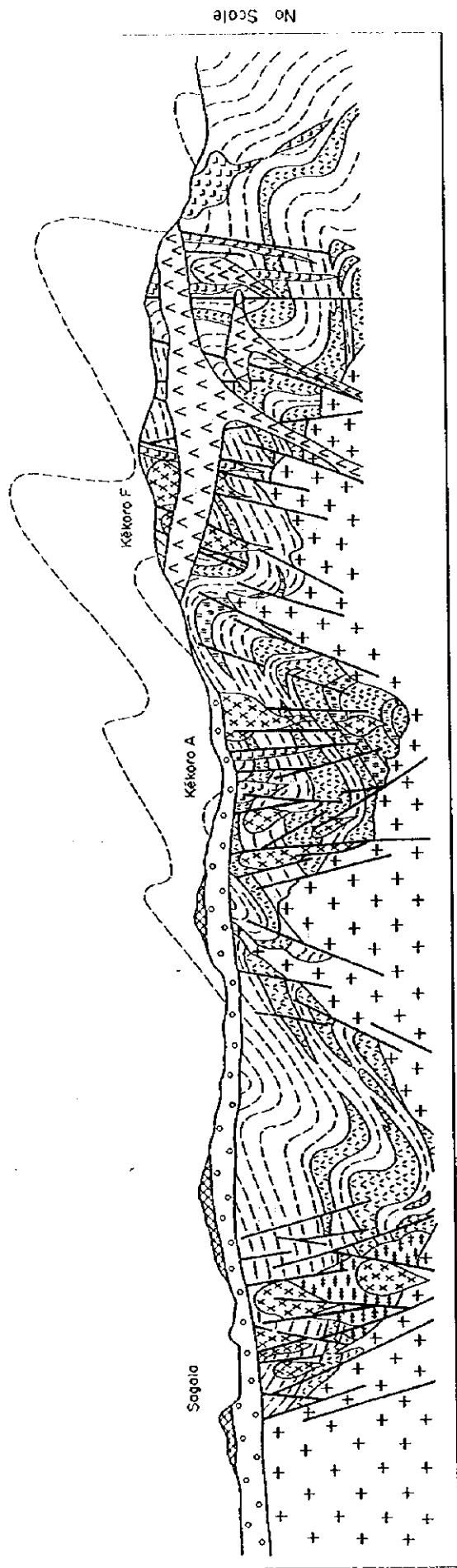


Fig.I-3-1 Esquisse géologique du sud-ouest du Mali



LEGENDE

Cuirasse	Méta-grauwackes, Quartzites Schistes argileux
Carapace	Tufs felsiques
Dolérite, Gabbro	Métabasaites, Méta-andésites
Tonalite, Diorite	
Granites	
Gabbro	
Dacite, Rhyolite	
Latérites	Groupe Birrimien
Intrusives Mésozoïques	
Granites (Eburnian)	

Fig. I - 3-2 Coupe schématique de la géologie en Région de Kékoro - Baoulé - Banfing

Bagoé 帯は Bagoé 川沿いに延びる複向斜構造を形成する。その中央部は陸成堆積物(片岩、グレーワック)によって占められる。一方周縁部は、変火山岩類(安山岩、玄武岩、石英安山岩、凝灰岩)からなり、まれに礫岩およびグレーワックが分布する。Kékoro 西部、Kékoro 東部地区および Sagala 地区が属する Dougouni-Kékoro 帯は泥質片岩と変砂岩からなり、一部に黒雲母に富んだホルンフェルスを伴う。また、変火山岩類を伴うこともある。Yanfolila 帯はフリッシュ型の堆積岩(片岩とグレーワック)で特徴付けられるが、そこには火山岩や珪岩が含まれる。Kangaba 帯は大部分がギニアに分布する。そのため、マリではあまりよく知られていないがおそらく Yanfolila 帯に類似していると考えられる。

3.2 金鉱床の概要

ガーナ、マリ、ブルキナファソ等の西アフリカ諸国には多くの金鉱床が知られ、それらの大部分は Birrimien 累層群中に賦存する。Milési et al. (1992b)は、これらの鉱床を電気石砂岩型、硫化鉱物鉱染型、Tarkwaian 含金礫岩型、中熱水性石英脈型等に分類・整理した。以下に、マリの代表的な金鉱床である Sadiolam 鉱山、Loulo 鉱床、Kalana 鉱床、Syama 鉱山および Morila 鉱床の概要を示す。これらの鉱床は、いずれも Birrimien 累層群中に胚胎する。

Sadiola 鉱山: Bamako の西方約 350km のマリ・セネガル国境付近に位置する。可採鉱量 43.0Mt、平均品位 3.06g/t Au、金量約 131.6t といわれ(Iamgold, 31/Dec./1998)、1996 年 12 月から露天掘りによる出鉱を開始した。1998 年の処理鉱量は 4.96Mt、金生産量は 15.7t、平均品位は 3.3g/t Au、cash operating cost は 104 US\$/oz で、マリ最大の金鉱山として、さらに世界有数の低コスト金鉱山として注目されている。1999 年の金生産量は 14t と計画されている(Iamgold, 20/Jan./1999)。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、金を含むサブロライトである。地表付近のサブロライト酸化帯の鉱量は 24.1Mt、下部のサブロライト還元帯(硫化鉱物鉱染帯)の鉱量は 18.9Mt である。ボーリング結果によれば、地下深部の金鉱化帯は、「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 400m~500m まで連続することが確認されている。

Loulo 鉱床: Bamako 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 前の旧資料によれば、「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 and 1986)。

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エレクトラムとして産する。石英脈中には硫砒鉄鉱と黄鉄鉱が多量に認められ、流体包有物重点温度は 340~420°C を示す。F/S 前の旧資料によれば、採掘対象となった「Kalana 1 鉱体」の資

源量は金量 30.2t(平均品位 28g/t Au)と算出されている(Bassot and Traoré, 1980)。

Syama 鉱山: Bamako 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 年～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 等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)により操業されている。鉱床母岩は Birrimien 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、セリサイト化および黄鉄鉱の鉱染が広く認められ、このなかで、金は鉱染状のエレクトラムとして産出する。

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・ベルギーが土壌地化学探査と鉱微地調査を実施し、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。鉱床の平面形状は概ね 500m×250m、厚さは 24m～160m である。F/S 結果によれば、確定可採鉱量 14.65Mt、金量 64.88t(平均品位 4.43g/t Au)で、2001 年 1 月から生産開始する予定である(Randgold Resources Limited, 13th April, 1999)。金は、Birrimien 累層群ワッケ質砂岩中また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。母岩の片理面と平行な石英細脈(分泌石英?)が少量認められる以外に、明瞭な厚い石英脈は認められない。

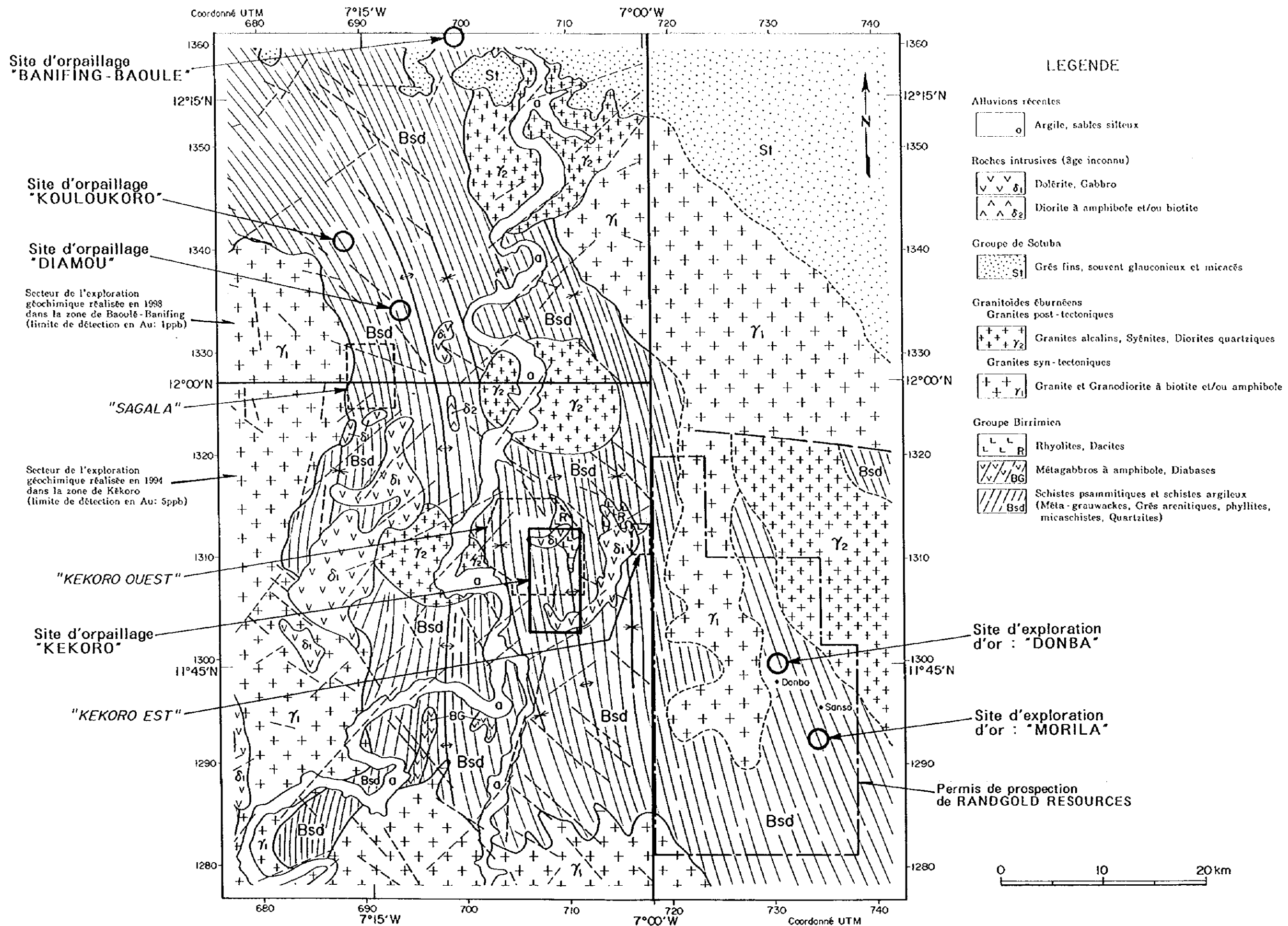


Fig.I-3-3 Distribution des zones minéralisées dans la région de la présente recherche et à son voisinage

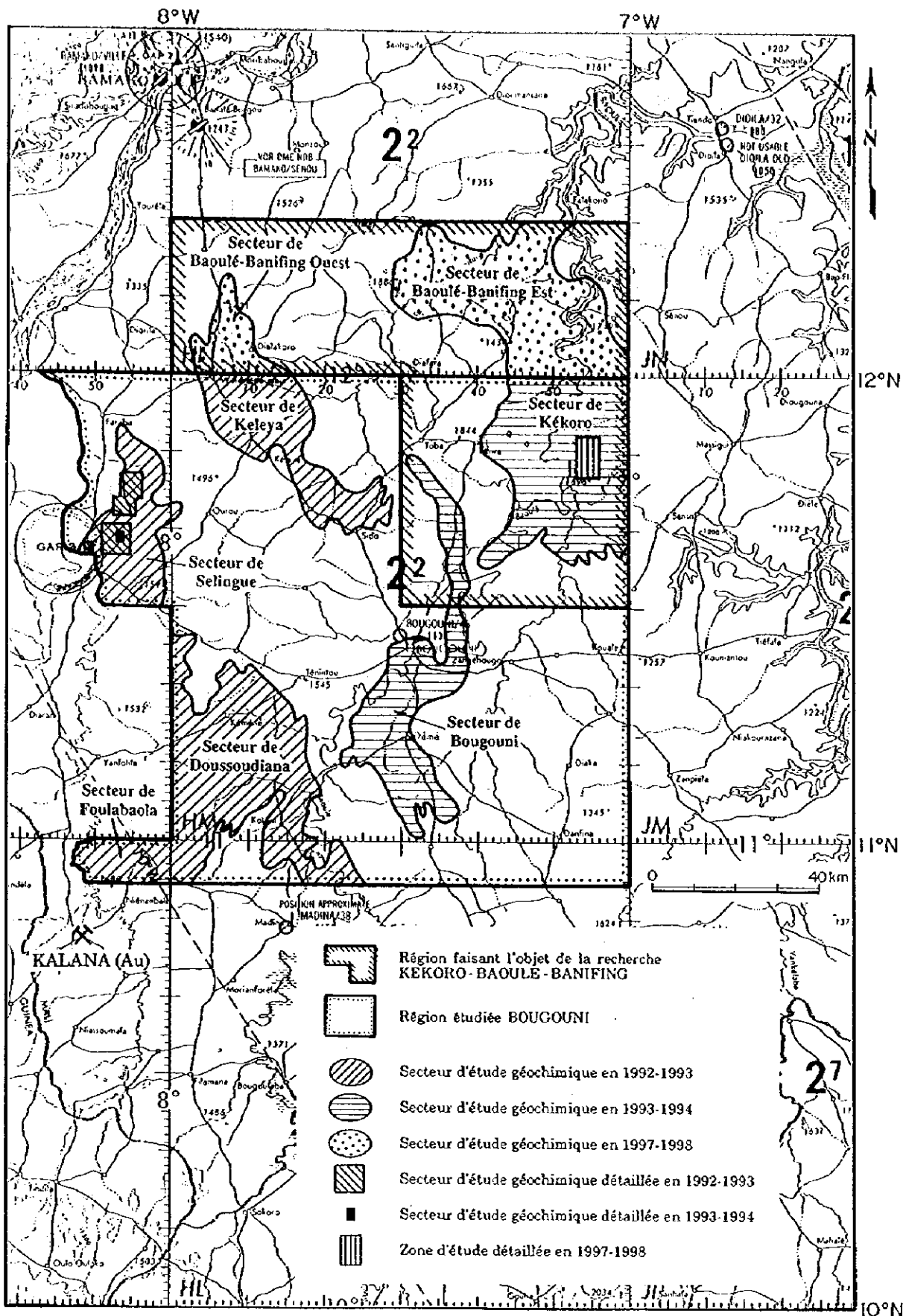


Fig.I-4-1 Recherches antérieures dans la région et les zones minéralisées

3-3 Syama 鉱山の見学報告

1999年2月22日、渋谷明貫(SUMICON)、藤井 昇(MMAJ)、Emanuel Thera(DNGM)の3名がSyama 鉱山を訪問した。その際観察したSyama 鉱床露天掘りピットおよび探鉱中の北部衛星鉱体の地質と鉱床の産状を報告する。

面会者: 鉱山長: Peter KINVER(探鉱技師, イギリス国籍, オマーン国鉱山公社(OMCO の元 General Manager, 石材事業の失敗の責任をとり辞任後 Ghana を経て Randgold 社へ移籍))

地質技師: Chris AINSWORTH(マリ人, 現場案内)

George HENRY(南ア国籍, 地質説明)

[鉱山概要]

位置交通: シヤマ(Syama) 鉱山はバマコの南 300km, ケコロの南東約 100km に位置する。バマコから 8 人乗りの専用小型機で 1 時間の距離である。陸路では Bamako-Bougouni(160 km, 2 時間), Bougouni-Kouale(60 km, 1 時間), Kouale-Sikasso(151 km, 1 時間 50 分), Soaks-Syama 鉱山(158 km, 2 時間)を要する。鉱山周辺は標高 350~400m のなだらかな丘陵地帯で, 植生はケコロ地域とほぼ同等の熱帯サバンナである。

権益: 本鉱山は南アフリカ共和国 Randgold 社 65%, DNGM 20%, IFC(国際金融公社)15%の出資により, 1996 年に操業が開始された。

地質鉱床: 鉱床は Birrimian 累層中の幅 20~40m の剪断破碎帯に鉱染-網状に胚胎する。南から北に順に Syama, Syama Extension, Banaso の 3 鉱床が分布する。

埋蔵鉱量: 酸化鉱(地表~40m 深), 250 万トン(Au3.09g/t, Au 量 7.7トン)

硫化鉱(40~300m 深), 2,000 万トン(Au4.04g/t, Au 量 81.0トン)

開発経緯:

13~14 世紀: 地元住民によるピット採掘。

1980~1986 年: UNDP-DNGM プロジェクトにより広域土壌地化学探査及びピット調査を実施。3 つの異常帯(Au>200 ppm)を確認。グリッド間隔は概査 1000 x 400m, 精査 400 x 100m(概査で Au 異常が見つかった範囲)。

1987 年: BHP-Utah が権益取得。精密地化学探査とコアボーリングを実施。

1990 年 1 月: BHP による操業開始。

1990~1993 年: Phase- I 操業(酸化帯対象, 産金量 4 トン(リーチングプラント), 粗鉱生産 2,000~

4,000 t/day, W/O=1~4)

1996年9月:Randgoldが権益取得。Phase-II操業(硫化鉍対象)開始。

1997年現在:生産量 Au6~8トン/年, 鉍量 2,700 万トン, 品位 Au 4 g/t(Au 量 110トン)。

[調査結果]

採掘中の露天掘りピット及び北部の探鉍地域において地質・露頭の観察を行い、探鉍事務所の地質技師により地質及び探鉍方法について情報収集・協議を行った。

1. 露天掘り(Syama Main Pit)地区

・ピット形状及びラテライト断面

・露天掘りピットの大きさはピット長径(N-S)1000m, 短径(E-W)500m, ピット底深度 150m, ピット傾斜 60°で, Wast/Ore=10 程度と推定される。ピット斜面上では, 地表から深部基盤岩までのラテライト断面成が観察される。岩相は地表からラテライト性皮殻(赤褐色, 層厚 5m), サプロライト(黄白色, 40m), 漸移帯(灰色, 10m), 未変質帯(灰色)の4層に変化する。鉍山ではラテライトラテライト性皮殻およびサプロライト層を酸化帯, 漸移帯および未変質帯を硫化帯と呼称している。未変質岩中に明瞭に見られる断層・成層構造や硫化物はサプロライト中では全て消失し, Au 元素の分布のみが地表まで連続する。地下水位が浅い(深度約 20m?)ため, 常時ポンプアップが必要である。側壁のサプロライトの一部が雨季に崩落している。

・鉍床母岩

鉍床母岩は主に玄武岩(一部安山岩)からなり, 砂岩(greywacke)層を挟在する。走向は N-S, 傾斜は 65~70°W で, 砂岩層の分級構造から地層が逆転していると考えられる。貫入岩としてまれにランプファイアーの岩脈が認められるが, Au 鉍化とはとくに関係がない。花崗岩類などの貫入は磁気データから鉍床の北東方に推定されているが, 露頭では確認されていない。

上記の母岩は地層とほぼ平行(走向 N-S60~70°W)な主断層により, 南東側の礫岩層と接する。Au の鉍化はこの主断層(破碎幅 20~40m, 多量の石墨を伴う)とその上盤側に平行する数枚の副次断層(幅数 m)による明瞭な規制を受ける。同じ N-S 系でも E 傾斜の断層や E-W 系の断層に Au 鉍化は伴わない。鉍化圏全体の形はレンズ状をなす。

・鉍床

鉍床は一般に Birrimian 層群中の剪断破碎帯(幅 20~40m)に鉍染一網状に胚胎する。南から北に順番に, Syama, Syama Extension, Banaso の 3 鉍床が分布する。埋蔵鉍量は酸化帯(地表~40m 深)で 250 万トン(Au3.09g/t, Au 量 7.7トン), 硫化帯(40~300m 深)で 200 万トン(Au4.04g/t, Au 量

81.0トン)といわれている。現在のカットオフ品位は 1.5g/t である。このためズリ中にも 1g/t 程度の Au が含まれる。中品位鉱ストックパイルの品位は Au 2~5g/t である。

Au は主に黄鉄鉱中に含まれる。したがって黄鉄鉱と Au の品位はリンクしており、鉱山では黄鉄鉱濃集部を選択的に採掘している。黄鉄鉱は断層破砕中に多く鉱染するため、Au 品位もこの部位で高い。Au 含有量は細粒の黄鉄鉱中で高く、粗粒かつ立方体のもので低い傾向がある。

・ 変質作用

母岩の変質鉱物としてアンケライト、アルバイト、セリサイト、クロライトの 4 種が認められる。Au 高品位部には特にアンケライトが多いといわれる。また玄武岩に強く見られるクロライト化作用は Birrimian に一般的な広域変質で、鉱化作用との関係は特でない。

2. 北部衛星鉱床探鉱地区

シヤマ鉱床から北方延長 6km にわたり、Au 鉱床(衛星鉱体)が断層に沿って直線的に連続して分布する。衛星鉱体の地表酸化帯の一部はすでに BHP によって採掘済みである。また Randgold 社は、現在硫化鉱をターゲットに探鉱を実施中である。

断層の北方延長線上に珪化岩露頭が点在し、Bananso 付近ではストックワーク状に石英脈が分布する。石英脈中に free gold を含有する。これはシヤマ鉱山のような一次鉱床の金が、熱水の作用により再移動・濃集した結果形成された二次鉱床と考えられている。

空中物探(BHP, 1993)のデータは、Bananso の東方 2~3km 付近に貫入岩体の潜在を思わせる強い磁気異常を示しているが、露頭は見いだされていない。

3. 探鉱手順

シヤマには成因的に一次鉱床と二次鉱床の二種類の鉱床が存在するといえる。すなわち一次鉱床は破砕帯中の黄鉄鉱に含まれる金で、二次鉱床は熱水により石英脈中に再移動・濃縮した金である。探鉱手順としては、地化学探査(地表部アノマリの抽出)、酸化帯ボーリング(サブプロライト中の鉱化範囲の抽出)、硫化帯ボーリング(一次鉱床の確認)の手順が有効と考えられている。

地化学探査:地化学探査では、土壌、ピット、オーガードリルによるサンプリングを行う。アノマリ抽出のベースは土壌地化探であるが、旧坑ズリによる汚染や地表部の物理的移動の可能性をチェックする目的で、ピット(2~3m)やオーガードリル(~15m)によるサブプロライト上部までのサンプリングを行っている。実際、Syama Extension 付近に見られた旧坑ズリによる土壌地化探異常が、その後のピット調査により除去された。

土壌地化学探査異常(Au>250 ppm)の規模は 1.5 km(NS) x 0.8 km(EW), サプロライト中の Au 鉱化圏は 1.0 km(NS) x 0.2 km(EW)である。

酸化帯ボーリング:酸化帯(サプロライト帯)を対象に 20 m 間隔, 40 m 深の垂直 RC ボーリングを実施し, 鉱化範囲を特定する。RC はコンタミの難があるが, 速くて廉価である。

硫化帯ボーリング:RC で確認されたサプロライト中の鉱化範囲の深部延長を狙って, 傾斜 DDH ボーリングを実施する。RC で捉えた Au 鉱化帯は, 多くの場合そのまま深部の硫化鉱体に連続する。分析間隔は通常 1 m で, 高品位部は Au 20~30 g/t である。Au 鉱化は玄武岩と砂岩層との境界部に位置するが多い。これは岩相境界が弱線部となり破碎が発達するためと考えられる。品位は一般に酸化帯が硫化帯を上回り, 現場地質技師は風化残留による Au の相対的濃集と考えているが, サプロライト化に伴う鉱石比重の減少=品位の増加は考慮されていない。

沖積層被覆域では地化探アノマリが現れない場合でも, ボーリングを行う場合がある。Syama Extension の BHP 露天探掘ピット No.821 は 1~5m の沖積層に被われ(しかもその地表部新規のラテライト土壌が形成)土壌アノマリはまったく見いだせなかった。しかし既知鉱床の北方延長に位置することから, ボーリングの結果鉱帯が発見された。シヤマ鉱山付近には異地性のラテライトが多いため, 一時期 BHP は土壌地化探結果よりも地質構造を重視し, RC ボーリングを 20m 間隔で実施した。

その他収集情報:

断層・鉱化の形成時期:22 Ba の Birrimian 累層の堆積直後に生じた構造運動で断層が形成。断層形成と同時期あるいはその後に金の鉱化が生じたと考えている。

鉱化断層中の炭素(グラファイト)の起源:周囲の堆積岩中の炭素が熱水で移動し, 断層運動で圧縮されグラファイト化したと考えられている。

4. 選鉱・抽出プラント

選鉱・抽出プラントは露天掘りに隣接して操業している。地質技師より聴取した処理フローは次のとおりである。

① 破碎・磨鉱→②浮選(pyrite 精鉱)→③焙焼→④CIL(Au 95% dore)

この過程における最終生産物である dore は, 空輸され欧州のマーケットで販売されている。また焙焼工程で発生する SO₂ は全量回収しているとのことだが, 煤煙は黄色味を帯びている。

その他収集情報:

・ 社員数合計約 800 名(Bamako 勤務者も含む), Randgold からの派遣社員はマネージャー以下数

名のみ。

- ・多くの白人技師はコントラクター。また、DNGM からの退職者を多く雇用しているが、現 DNGM 籍の技師は鉱山現場にはいない。
- ・鉱山敷地内部の機密保持は厳重であり、権益 20 %を保有する DNGM による事前の見学連絡はほとんど役にたたなかった。入口の検問で身分証・カメラを預けた。見学内容も地質情報に限られると釘をさされ、鉱石品位、実収率、生産量については答えられないと通告された。

5. 所感

・ピットスロープの大規模露頭に現れた地質鉱床断面を一目ただけで、地表から深部基盤岩までの成層風化構造と鉱化の成り立ちを明確かつ容易に理解することができた。一次鉱床の形状や変質は思ったより単純であり、サブロライト中の Au 分布状況も下位の一次鉱床の Au 分布をほぼそのまま反映している。ケコロ・バオレバニフィング調査でもラテライト性風化帯最上部のわずか数 m 部分における金の挙動について細かく複雑に考える必要はないかもしれない。

- ・初期探鉱の留意点は、二次堆積したラテライトや旧坑ズリによる地表部の地化探ハローを除去し、Au の出所のより正確な位置を見つけ出すことにある。すなわち、Au の土壌アノマリが検出されても、その下位に鉱床は存在しない場合がある。

・また、Au 鉱化を伴うサブロライトがわずか1~2m 程度の沖積層で被覆されただけで土壌地化探アノマリは消えてしまい、さらにこの沖積層の地表部にラテライト被殻が新たに生じると、さらに判別が困難となる。[すなわち、Au の土壌アノマリが検出されなくても、その下位に鉱床が存在する場合がある]このような場合は、既知鉱床の分布・地質から判断し、ボーリングで地下深部の鉱化を直接確認するしか方法はない。

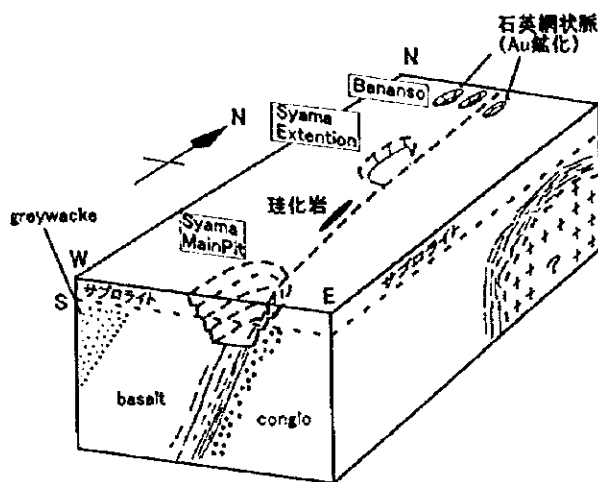
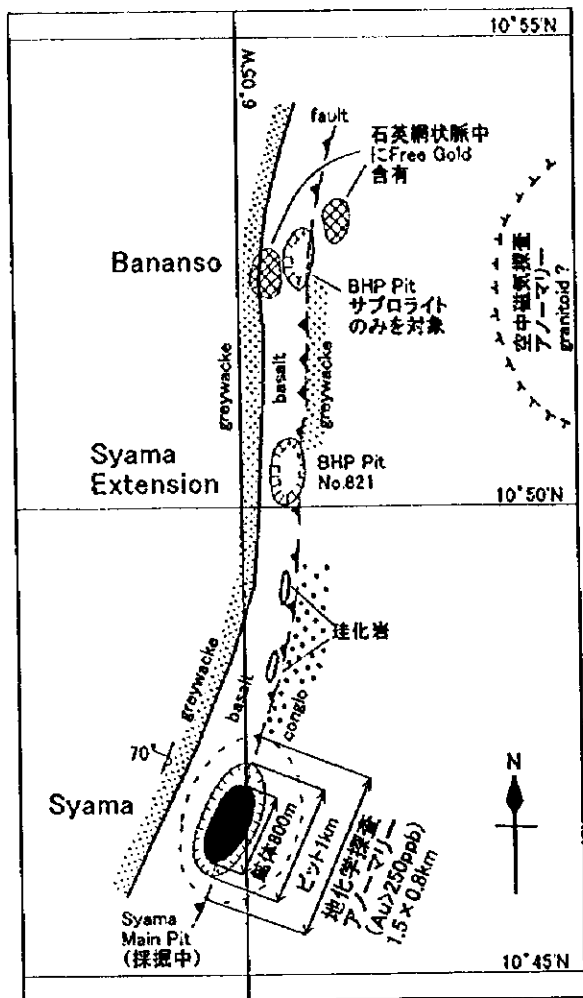
6. MMAJ 調査の探鉱方法との比較・考察

・サガラ地区には旧坑が、まったく存在せず、かつ土壌が 10~20 cmと薄い。地化学探査サンプルは一次(と思われる)ラテライト性皮殻から主に採取しており、シヤマで見られたような化探のハローは比較的せまいことが予想される。したがって、ピットやオーガードリルによる深部地化探を行わなくとも、精査レベルの土壌化探により in situ の Au アノマリ中心をある程度絞り込むことが可能かもしれない。その場合は速やかに RC ボーリングに移行すべきと思われる。

・ケコロ地区にはシヤマと同様 N-S 方向に細長く旧坑が分布しており、断層帯に伴う Au 鉱化帯が潜在している可能性が高く興味深い。また、ケコロ地区では多くの水系が地区を横切っており、土壌地化探によるアノーマリは沖積層の被覆により弱まっている可能性がある。このような地区では、現在 MMAJ 調査で行っている RC ボーリング探鉱により、地表から未変質帯上部までの地質・鉱化断面を迅速にまとめて把握することが、有効な探鉱方法であるといえる。

・なお、昨年度の調査で、ケコロ北方のバニフィングバオレ(BB)地区ではラテライト地帯に旧坑が多く分布しているにもかかわらず地化探アノーマリが検出されなかった。これについては Au 鉱化後の堆積物(おそらくカンブリア系)に生じたラテライト皮殻によって下位の Au 鉱化帯が被覆されている可能性がある。

・サブロイト内部の Au の挙動・濃集を考える場合、Fe の移動(脱鉄・濃集)に伴う、母岩の比重の違いを考慮しなければならない。もともと同一品位であった Au がそのまま残留していても、Fe の付加したクラスト部(比重≒4)と Fe の抜けたサブロイト(比重≒2)では Au 品位の値は 2 倍異なることになる。



Syama鉱床の産状

3-4 Morila 鉱床の見学報告

1999年2月24日、Randgold社のMorila 鉱床探鉱現場を訪問し、トレンチとボーリングコアの観察を行い、同社地質技師 Adama Konne 氏(マリ人)から当鉱床の探鉱経緯、地質、鉱床および探鉱手法に関する説明を受けた。現地調査団からは、藤井昇(MMAJ)、渋谷明貫、長尾尚顕、上田晃司(以上SUMICON)、Emmanuel Thera, Lassana Guindo, Mohamed Coulibali(以上DNGM)が参加した。調査目的は、Morila 鉱床の産状と探鉱指針に関する知見を得、ケコロ・バオレ・パニフイング地域の探鉱の基礎資料とすることにある。

[鉱山概要]

位置交通:モリラ(Morila)鉱床はバマコの南西150km、ケコロの南東約30kmの集落 Sanso 南端に位置する。

権益:本鉱床は南アフリカ共和国 Randgold 社80%、DNGM 20%が権益を持ち、1999年には操業に向けてのFS調査が実行された。

地質鉱床:平面形状500m×250m、厚さ24m~160mの含自然金硫化鉱物鉱染鉱床。

埋蔵鉱量:確定可採鉱量14.65Mt、金量64.88t、平均品位4.43g/t Auで、2001年1月から生産を開始の予定。

調査経緯:

1950年代:フランス調査団が地質調査を実施。

1974年:フランス/SONAREM調査団が地質調査を実施。

1984~1987年: マリ/ベルギー調査団が地質調査と土壌地化学探査を実施。20万分の1の地質図幅「Massigui」を公表。「Morila 異常帯」と呼ばれる高Au地化学異常帯を発見。

1992~1994年: BHP社がMorila 鉱区3,900km²を取得。ピット調査18箇所、オーガーボーリング調査222箇所、VLF探査、コアボーリング2孔を実施。

1994~1995年: IP異常3帯を抽出。精密土壌地化学探査により、Morila 異常帯は幅400m~800m、長さ2,300mで、NE-SW方向に伸長。117ppb Au以上の高Au異常帯は南北700m×東西500mの範囲に分布。IP Anomaly Aは、117ppb Au以上の高Au地化学異常帯中に位置。コアボーリング5孔中の2孔でまとまった金鉱化帯を捕捉。

1996~現在(1999年3月):1996年 Randgold 社が Morila 鉱区の権益買収。117 ppb Au 以上の高 Au 異常帯、特に IP Anomaly A 付近でピット調査とトレンチ調査、コアボーリング調査を実施。平面形状 500 m×250 m、厚さ 24 m~160 m の含自然金硫化鉱物鉱染鉱床。1999年4月現在確定可採鉱量14.65 Mt、金量64.88t、平均品位4.43 g/t Au。

[調査結果]

1. 探査経緯の詳細

探鉱経緯1(BHP社鉱区取得以前): 1984年から1987年に実施されたマリ/ベルギー調査団が「Morila異常帯」と呼ばれる高Au地化学異常帯を発見したことにMorila鉱床発見の端緒がある。その際の試料採取間隔は、測線間隔:南北1,000m, 測点間隔:東西400mである。Morila異常帯(しきい値:38 ppb Au)は南北3測線を横断し、北側の測線で3点(139, 35, 450 ppb Au), 中央の測点で2点(78, 56 ppb Au), 南側の測点で1点(91 ppb Au)の地化学異常からなる。

探鉱経緯2(BHP社による探鉱): 1992年にはBHP社がMorila鉱区3,900 km²を取得し、ピット調査18箇所、オーガーボーリング222箇所調査、VLF探査を実施し、1994年7月にはコアボーリング2孔(傾斜45度, 最終深度156 m・266 m)を実施した。しかし、これらの探査手法を総合しても大規模かつ顕著な鉱徴を得るに至らず、また統一的な地質構造の解釈は困難であった。そこで、断層系と硫化鉱物鉱染帯を抽出する目的で、1994年10月、IP法による電磁気探査を計10kmの測線で実施した。その結果、80 m×650 m程度の規模を有し、NE方向に伸長するIP異常帯を3帯(IP Anomaly A, B, C)抽出した。また、精密土壌地化学探査結果によれば、Morila異常帯は、幅400 m~800 m, 長さ2,300 mの規模で、NE-SW方向に伸長する紡錘形を呈して分布する。117 ppb Au以上の高Au異常帯は、Morila異常帯中の北東端に位置し、南北700 m×東西500 mの範囲において、南北に伸長する紡錘形を呈して分布する。上述のIP Anomaly Aは、117 ppb Au以上の高Au地化学異常帯中に位置する。1994年10月から翌年1月にはコアボーリング5孔(傾斜45度, 最終深度300 m~340 m)を実施し、2孔でまとまった金鉱化帯を捕捉した。

探鉱経緯3(Randgold社による探鉱): 1996年以降はRandgold社がMorila鉱区の権益を引き継ぎ、現在(1999年3月)に至る。Randgold社はMorila鉱床の探鉱・開発を「San Project」と呼称している。Randgold社は、117 ppb Au以上の高Au異常帯、特にIP Anomaly A付近で、ピット調査とトレンチ調査を中心とする探査を集中的に実施し、有望地区ではコアボーリング調査を100孔以上実施した(F/S調査ボーリングを含む)。その結果、平面形状500 m×250 m, 厚さ24 m~160 mの含自然金硫化鉱物鉱染帯を確認した。1999年4月のRandgold社の発表によれば、確定可採鉱量14.65 Mt, 金量64.88 t, 平均品位4.43 g/t Auで、2001年1月から生産を開始する予定である(Mining Magazine, May 1999)。

2. 鉱床の産状

Morila 鉱床周辺では、変堆積岩を主体とする Birrimien 累層群にトーナライト岩株が貫入している。鉱床は、Birrimien 累層とトーナライト岩株の接触部付近、特に変堆積岩類側 0 m~150 m の範囲に胚胎する。金は、Birrimien 累層群のワッケ質砂岩中または黒雲母片岩中の硫化鉱物(黄鉄鉱>硫砒鉄鉱>>黄銅鉱,磁硫鉄鉱)鉱染帯に、鉱染状の細粒自然金(free gold)として産する。自然金と硫砒鉄鉱の含有量の間には正の相関があり、土壌地化学探査でも、Asは金鉱化帯の有効な指示元素となるといわれる。石英脈は母岩の片理面とほぼ平行な石英細脈として少量認められる。母岩の変質の程度は一般に弱い。弱い珪化、炭酸塩化、アルバイト化、クロライト化が報告されている。変質帯のハロー幅は小さく、変質帯調査は探鉱に直接役にたたない。

3. ボーリングコアの観察結果

Morila 鉱床では 100 本以上のコアボーリングが実施され、そのなかの数本のコアを観察する機会を与えられた。以下では、主に No.54 ボーリングのコア観察結果について記載する。地質は、黒色のワッケ質変成砂岩とこれを貫くトーナライトからなる。ワッケ質変成砂岩の変成・変形の程度はきわめて弱い。砂岩の原岩構造が容易に識別される。一部の箇所では弱い片状構造や、細粒の黒雲母に富むホルンフェルス化が認められる。肉眼で識別される変質は、弱い珪化と弱いウロライト化である。量的にはきわめて僅少であるが、片理面とほぼ平行な厚さ数 mm の白色石英の細脈や、直径 5 mm 前後の礫状石英が認められる。一部の石英細脈は、母岩とともに微褶曲している。脈幅の大きな石英脈は認められない。ワッケ質変成砂岩中には、粒径 0.7 mm～1.5 mm の黄鉄鉱と硫砒鉄鉱の鉱染が顕著に認められる。硫化鉱物の量比は全体の 5%前後と推察される。鉱染帯の金品位は 1 g/t Au～5 g/t Au を示す箇所が多く、高品位部は 50 g/t Au 前後を示す。金品位と硫化鉱物量には明瞭な相関関係は認められない。また、金品位と硫化鉱物組み合わせの間にも相関は認められない。ワッケ質変成砂岩を貫くトーナライトは、粒径 4 mm 前後の新鮮な粗粒完晶質岩であり、コア長 10 m 前後の分岐脈を伴う。変成砂岩とトーナライトの接触部には明瞭な断層や破碎帯は認められない。トーナライト中には、肉眼で識別できる鉱染状硫化鉱物や変質鉱物は認められないことから、トーナライトは主要な鉱化時期より後に貫入したものと推定される。ただし、No.54 ボーリング孔のトーナライトの金品位が 0.1 g/t Au～0.5 g/t Au を示し、Morila 鉱床ではまれな例ではあるが、トーナライト貫入後にも金鉱化作用が生じた可能性がある。

4. トレンチの観察結果

Morila 鉱床周辺では、1997 年以降 Randgold 社により約 20 箇所のトレンチが掘削された。特に、キューラスとカラパスの厚さが合計 2m 未満の場所に掘削されている。掘削作業は人力で行われ、人夫 2 名が長さ 2.5 m/day (深さ 2m) で掘削可能とのことである。我々が観察したトレンチ (MTR-1) は、東西方向約 200 m、深さ 2 m の規模をもつ。トレンチの表層には厚さ 20 cm～50 cm のカラパスが、その下位にサブロライトが成層する。サブロライト中では、硫化鉱物鉱染帯は酸化鉄や水酸化鉄の濃集帯として識別できると当初考えていた。しかし、現地での観察結果によれば、サブロライトは帯紫褐色～褐灰色を呈する塊状・均質な砂質土壌であり、硫化鉱物からの酸化鉄や水酸化鉄の濃集帯は認められなかった。

サブロライト中の金品位は 2 g/t Au～5 g/t Au であり、高品位部では 30 g/t Au～90 g/t Au を示す。サブロライトの外見的特徴から金品位を予想することはきわめて困難である。

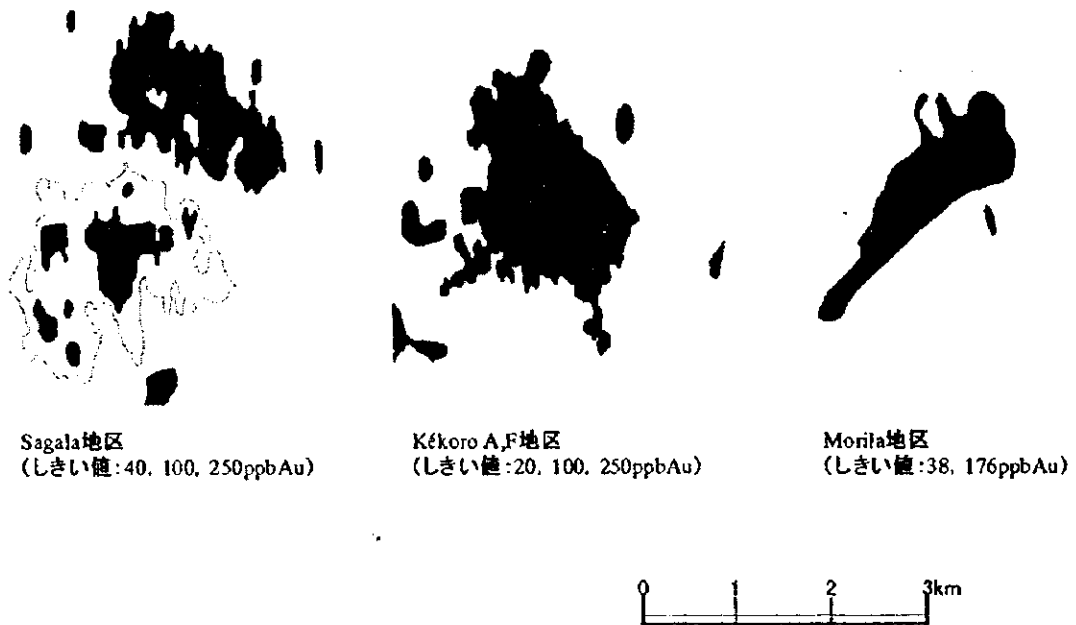
5. 所感

Morila 鉱床の発見は、1980 年代なかばに実施された測線間隔 1km、測点間隔 400m の土壌地化学探査に端を発する。このとき発見された 35 ppb Au 以上の地化学異常はわずか 6 点であり (最大 450ppb Au)、その後 10 年の粘り強い精密地化学探査、オーガーボーリング、物理探査 (VLF 探査、IP 法探査)、ピット調査、トレンチ調査、コアボーリングの後、1997 年、大規模な鉱体を捕捉するに至った。現在の Sagala 地区と Kékoro 西部地区における探鉱は、Morila 地区でいえば、1990 年代初頭の精密地化学探査を終了した段階に対比することができる。Sagala, Kékoro A, Kékoro F および Morila の地化学探査結果を比較すれば、下図に示すとおり、Sagala, Kékoro A, Kékoro F 地化学異

常帯の規模は Morila 地化学異常帯にまったくひけをとらない。これらの地化学異常帯における金鉱床賦存のポテンシャルを正しく評価するために、基礎的な調査を今後も継続する必要があると考えられる。

6. MMAJ 調査の探鉱方法との比較・考察

Sagala 地区と Kékoro 西部地区において、ワッケ質砂岩中に含自然金・黄鉄鉱・硫砒鉄鉱・鉄鉱染帯が見いだされたことから、Morila 地区での探鉱手法が大いに参考になる。特に、トーナライト岩株が貫入する Sagala 地区の地質構成は Morila 地区と類似する。基本的には、Morila 鉱床と同様に、ノンコアボーリング、物理探査、ピット調査、トレンチ調査、コアボーリングの実施が望ましい。しかし、Sagala 地区及び Kékoro 西部地区のラテライト土壌(カラパス)が、Morila 地区に比べ厚く、ピット及びトレンチ調査は、Sagala 地区と Kékoro 西部地区では有効でないであろう。したがって、当面は物理探査とノンコアボーリングを主体とした探鉱を継続し、鉱化帯を捕捉した際には、鉱床モデル(作業仮説)や探鉱の指導原理を設定するために、できるだけ早い段階でコアボーリングを実施して産状を観察することが望ましい。



Au地化学異常の規模の比較

第4章 調査地域の探査経緯

4-1 探査経緯

Kékoro 西部地区では、古くから 1970 年代まで現地住民による金の採掘が盛んに行われていたといわれ、現在でも、直径 1m、深さ 2~8m の小規模なピットが数千箇所認められる。採掘対象は、サブロライト、カラパスおよびその二次堆積物中の自然金である。Kékoro 西部地区以外にも、Diamou, Kouloukoro 等でも旧採掘跡が多数認められる (Fig. I-3-4)。しかし、1970 年代から綿花栽培による現金収入が可能になり、現在、金の採掘はほとんど行われていない。

1980 年代までの組織的な探査として 1939 年 (Golouninow, 1950)、1942 年 (Spindler, 1952)、1972~1974 年 (BRGM, 1974) および 1981~1982 年 (MIMA, 1982) に Kékoro 地域で実施された川砂調査、トレンチ調査およびピット調査があげられる。しかし、いずれの調査も経済価値を有する金鉱床の発見には至らなかった。

1991~1993 年には、Bamako 南方の広域地域 (14,000km²) で JICA/MMAJ による金の基礎調査が実施された。マリ側からは DNGM が参加した。Kékoro 地域も調査対象地域の一部として含まれ、そこでは、東西 250m、南北 1000m 間隔の土壤地化学探査と地質調査が行われた。その結果、Kékoro 西部地区と Sagala 地区 (本報告書 "Sagala 地区" の南半分) および Bonko 地区 (Bougouni 市街の南方) 周辺に金鉱床賦存の可能性があることが指摘された (JICA/MMAJ, 1994)。これを受けて日本政府は、1997 年度を第 1 年次とする「ケコロ・バオレ・バニフィング地域資源開発協力基礎調査」を開始した。本調査はその第 2 年次調査にあたる。

4-2 第 1 年次調査結果の概要

ケコロ・バオレ・バニフィング地域資源開発協力基礎調査第 1 年次調査では、Kékoro 地域に分布する鉱徴地のマッピング、および Baoulé-Banifing 地域における東西 250m、南北 1000m 間隔の土壤地化学探査と地質概査が実施された。その結果、以下の事項が明らかとなった。

Kékoro 地域

- (1) Kékoro 地域のなかでも Kékoro 西部地区の北半分、すなわち、N-S 方向に配列する Kékoro A 鉱徴地、Kékoro B 鉱徴地、Kékoro C 鉱徴地、Kékoro F 鉱徴地 (Fig. II-1-1) の近傍に比較的規模の大きい初生的な金鉱化帯が存在する可能性が大きい。これらの金採掘跡地の採掘対象は砂金ではなく、初生的な金鉱化帯がラテライト化作用を受けて形成されたカラパスとサブロライトと考えられる。また、Kékoro A 鉱徴地と Kékoro B 鉱徴地周辺には人頭大の石英転石も多数分布し、分析値は最高 86g/t Au を示す。
- (2) Kékoro 西部地区の南方 4km にある鉱徴地には、硫化鉱物 (黄鉄鉱・硫砒鉄鉱・磁硫鉄鉱) の鉱染と強い珪化を受けた、N-S 方向の石英安山岩岩脈が認められ、分析値は 0.2g/t Au を示す。しかし、鉱化の及んだ範囲はきわめて狭いと予想される。

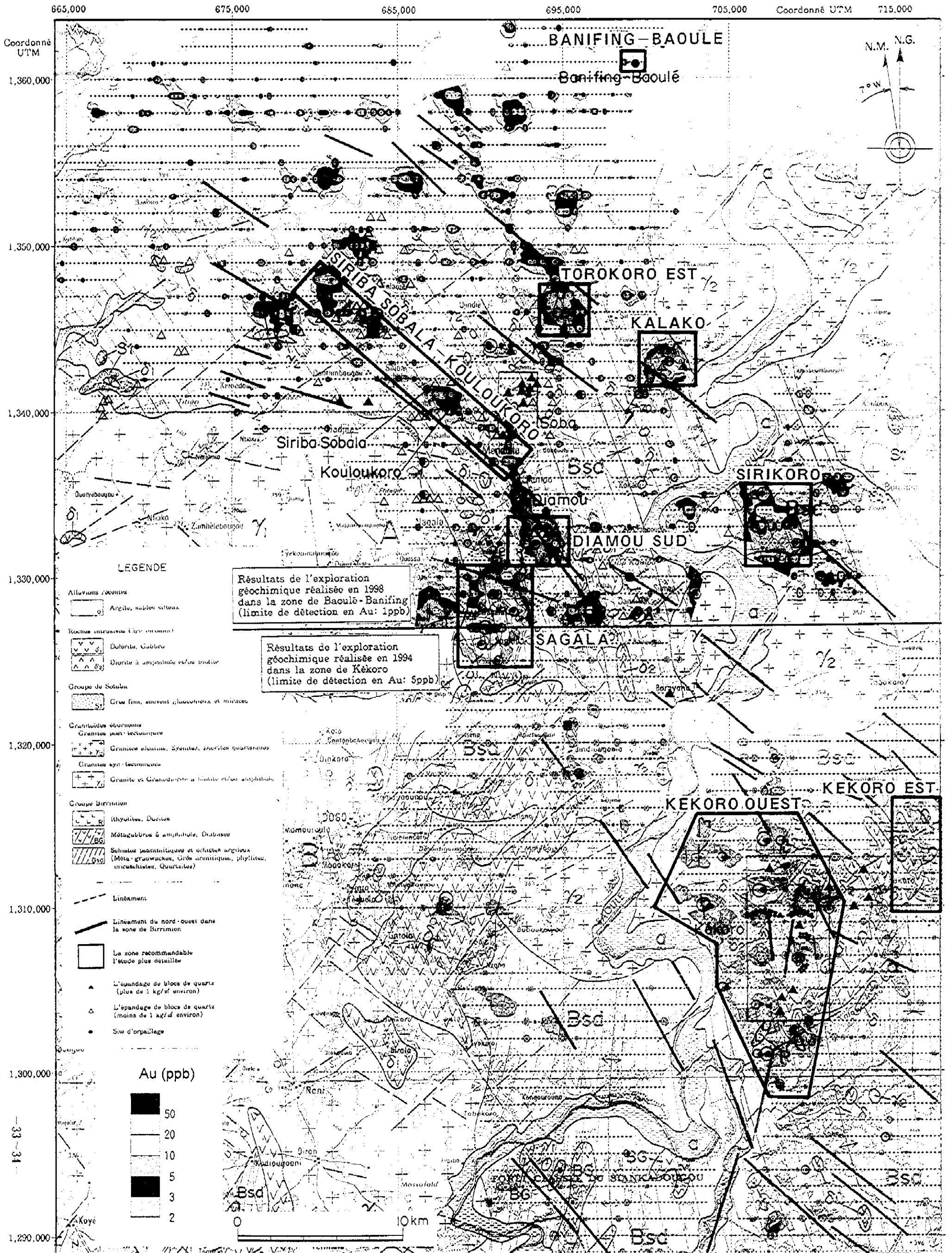


Fig.I-4-2 Distribution des anomalies géochimiques dans les régions de Kékoro et Baoulé-Banifing

- (3) Kékoro 西部地区の中央に位置する Kékoro C 鈳微地の旧ピット群の大部分は、沖積層中の砂金を採掘対象にしている。砂金の供給源は、Kékoro C 鈳微地の upstream に位置する Kékoro A, B, F 鈳微地と考えられる。
- (4) 1991～1993 年に実施された土壌地化学探査では、測線間隔 1000m, 測点間隔 250m であったが、Kékoro 西部地区全体の今後の地化学探査では、測線間隔 500m, 測点間隔 100m 程度の測点密度が必要である。また、Kékoro A, B, D, F 鈳微地周辺ではさらに細かい測点配置が望ましい。また、地質状況と鈳微地の配列状況から判断し、金の鈳化は N-S 方向の構造に規制されている可能性が大きいので、測線は E-W 方向が適当である。
- (5) 鈳微地のラテライトには、a) 初生金鈳床そのものが原位置でラテライト化したもの、b) 過去のマッシュアップメントで二次的に移動・堆積した土砂をラテライト性皮殻が覆ったもの、c) ラテライトの二次的崩積土砂の 3 種があると考えられる。また、機械的拡散と地下水の水理的拡散により、初生的な鈳化帯の金がラテライト中を移動し、二次的な金濃集帯を形成している可能性もある。すなわち、地表下数 10cm の土壌地化学探査のみでは、地下の初生的な金の鈳化を評価することは困難であり、RCボーリング調査やピット調査などの深部地化学探査を実施する必要がある。

Baoulé-Banifing 地域

- (1) 過去に Kouloukoro 鈳微地、Siriba Sobala 鈳微地、Diamou 鈳微地知られていたが、これらに加え新たに Soba 鈳微地および B.B.鈳微地が見いだされた。
- (2) Kouloukoro 鈳微地のピット群の延長は約 300m で、全体として WNW-ESE 方向に配列する。ピット中にはカラパスが分布し、その周囲には多量の石英転石が分布している。Siriba Sobala 鈳微地には 3 箇所のピットと東西 2 箇所の砂金採取跡がある。Siriba Sobala 鈳微地と Kouloukoro 地区との距離は約 6 km あるが、両鈳微地のピット群は概ね WNW-ESE に配列しているように見える。ピット中のカラパスとその周囲の石英転石を分析した結果、顕著な金の鈳化は認められなかった。
- (3) Diamou 鈳微地にはラテライトが分布せず、Birrimien 累層群が直接露出している。ピット群は、変堆積岩とデイサイト貫入岩の境界付近に集中し、幅 30m～40m, WNW-ESE 方向 130m の範囲に分布する。破砕帯から採取した試料の分析値は、最高 0.89 g/t Au を示した。当鈳微地の評価には、さらなる調査が必要である。
- (4) Soba 鈳微地は Diamou 鈳微地北方に位置し、多量の石英転石が分布する。一部、幅 30cm, 走向 NNE-SSW の石英脈が片岩中に認められる。石英転石はペグマタイト質石英、粗粒白色塊状の石英、赤鉄鈳を伴う石英、電気石を伴う石英からなる。これら石英転石には、金の鈳化は認められなかった。
- (5) B.B.(Banifing-Baoulé)鈳微地のピット群は、やや NNW-SSE 方向に伸びた 300m×150m の範囲に分布する。金採掘によるズリの一部のラテライト試料は 1.2 g/t Au を示した。この試料は赤褐色多孔質の酸化鉄を主とし、半分溶解した石英粒を含むもので、カラパス起源と考えられる。当鈳微地の評価には、さらなる調査が必要である。

- (6) まとまった Au 地化学異常帯として, Sagala 異常帯, Diamou 南部異常帯, Sirikoro 異常帯, Kalako 異常帯, Torokoro 東部異常帯の5箇所が抽出された。これらの異常帯はいずれも NW-SE 系もしくは NNW-SSE 系の方向性を有し, Birrimien 累層群の片理構造および NW-SE 系リニアメントと調和的である。
- (7) 以上 5 箇所の地化学異常帯のなかで, その幅がりと Au 含有量の見地からより大きいポテンシャルをもつのが, Sagala 異常帯である。過去の採掘実績はないものの, 20ppb 以上のまとまった Au 異常が南北 3km, 東西 1km の規模で認められる。第二年次調査での精密地化学探査とピット調査が必要である。
- (8) Sagala 異常帯に次いで注目されるのは, Diamou 南部異常帯である。Diamou 鉱徴地では採掘実績があり, かつ今回の調査で基盤岩における金の鉱化 (0.89 g/t Au) を確認しているので, Diamou 南部異常帯の資源ポテンシャル評価には, RC ボーリングを含むより詳細な調査が不可欠である。

第5章 第2年次調査結果の概要

5-1 Kékoro 西部地区

調査概要: Kékoro 西部地区は Kékoro 集落の西方約 6km に位置し、首都バマコからの総距離は約 310km、四輪駆動車両で 6.5 時間を要する。当地区では、地元住民による金の採掘が古くから 1970 年代まで盛んに行われ、その採掘跡は現在でも観察することができる。採掘跡は、南北 8.5km 東西 2.5km の区域に数千箇所認められ、特に集中する鉱徴地として、北から順番に、Kékoro F、Kékoro A、Kékoro B、Kékoro C、Kékoro D および Kékoro E の 6 箇所が抽出された。Kékoro C 鉱徴地での採掘対象は現世河川堆積物の砂金であるが、その他の鉱徴地での採掘対象はラテライト中の金である。第1年次調査結果によれば、初生的な金鉱化作用が生じている可能性の強いのは Kékoro 地区の北部、特に Kékoro F、Kékoro A、Kékoro B 鉱徴地とされ、今年度の調査ではこれらの鉱徴地に重点をおいた。調査手法は、地形図(1:10,000)作成、地表踏査、ピット調査、RCボーリング調査および地化学探査からなる。金の鉱化が南北方向の構造に規制されている可能性が大きいことから、ベースライン(延長 8.5km)は南北方向に、サブライン(総延長 182km)は 125m～500m 間隔で東西方向に設置した。

地質: Kékoro 西部地区には、新生代前期の Birrimien 累層群が広く分布し、花崗閃緑岩岩株、デイサイト岩脈およびドレライト岩床・岩株がこれを通る。Birrimien 累層群はワッケ質の変砂岩と泥質片岩を主体とし、少量の変火山岩類を伴う。変成相は緑色片岩相を示す。花崗閃緑岩の岩株は長径 200m 前後の小規模なもので、地区北部に数箇所認められる。採取した 2 試料の花崗閃緑岩の K-Ar 年代は $2,020 \pm 48\text{Ma}$ および $2,178 \pm 44\text{Ma}$ で、新生代前期のエブルニア造山時の年代を示した。デイサイト岩脈は、走向南北、幅 2m～5m で、鉱徴地周辺に多数認められる。強い珪化と黄鉄鉱・硫砒鉄鉱の鉱染を伴うことが多い。ドレライトは岩床または岩株として地区北部に認められ、それらはいずれも変成と変質を受けていない。採取した 8 試料のドレライトの K-Ar 年代は $192 \pm 4\text{Ma}$ ～ $231 \pm 5\text{Ma}$ で、三畳紀後期からジュラ紀前期を示す。金採掘跡は Birrimien 累層群とデイサイト岩脈分布域に位置するが、ドレライト中には認められない。

Kékoro A および Kékoro B 鉱徴地の地表踏査結果: 旧ピット群の主な採掘対象は、地表を広く覆うカラパスである。周囲の転石には、黄鉄鉱と硫砒鉄鉱による著しい鉱染を受けた変砂岩・泥質片岩や、黄鉄鉱と硫砒鉄鉱による鉱染と強い珪化を受けたデイサイト岩脈などが認められる。金鉱化作用は、このような硫化鉱物の鉱染や珪化と密接な関係を有するものと推定される。また、径 10cm～50cm の石英の転石が鉱徴地周辺に散在することから、これらの鉱染帯は石英脈を伴うことが予想される。硫化鉱物の鉱染を受けたデイサイトおよび変砂岩の転石の分析結果は、0.2～0.4g/t Au を示した。石英の転石の分析結果は、金含有量の高いもので、2.5g/t Au～19.4g/t Au を示した。また、1998 年に Kékoro A 鉱徴地で採取された石英転石の品位は、86g/t Au であった。

Kékoro F 鉱徴地の地表踏査結果: 旧採掘ピット群の主な採掘対象は、褐色または灰色を呈するサブプロライトである。ピット中では、変成を受けた堆積岩類の片状構造や花崗岩組織などの原岩構造がしばしば観察される。当鉱徴地が Kebekourou 山の山頂に位置することから、これらのサブプロライトは Birrimien 累層群および花崗岩類が鉱化作用を蒙ったのち、金鉱化帯がほぼ原位置でラテライト化を受けて形成されたものと考えられる。Kebekourou 山の中腹には中生代のドレライト岩

床が広く分布する。Kékoro F 鉍徴地はこの岩床の上盤側に取り残された Birrimien 累層群のブロック(ルーフペンダント)中に位置する。ブロックの厚さは、鉍徴地周辺で 30m~40m と推定される。

ピット調査結果: ベースライン上で 16 孔、Kékoro F 鉍徴地周辺で 32 孔のピットを掘削した。ピットの深さは 5m であり、ラテライト断面のスケッチをした後、1m 毎のチャンネル・サンプリングにより分析試料を採取した。その結果、以下の3点が明らかとなった。

- 1) ベースライン上のピットでは厚さ 3m~4m のカラパスとその下位のサブロライトが成層する。Kékoro F 鉍徴地周辺のピットではカラパスがきわめて薄く、ほぼサブロライトのみからなる。
- 2) カラパスとサブロライト中の特定の層準に金が濃集するような現象は認められない。
- 3) サプロライト中の金含有量を比較すれば、Kékoro F 鉍徴地のピット中の金含有量が圧倒的に高く(数百 ppb~数千 ppb)、次いで Kékoro A 鉍徴地北部の金含有量が高い(数十 ppb)。その他の区域の金含有量は 10ppb 以下である。

RCボーリング調査結果: Kékoro A 鉍徴地と Kékoro B 鉍徴地で計 16 孔、総延長 1,259m の RC (Reverse Circulation) ボーリングを実施した。その結果、以下の3点が明らかとなった。

- 1) サプロライトと基盤の境界深度は地表下 30m~50m にある。酸化帯と還元帯の境界は、サブロライトと基盤の境界深度付近、もしくはそれより 20m ほど深い深度にある。
- 2) 基盤の地質は、暗灰色のワッケ質変砂岩と泥質片岩が卓越し、少量の変火山岩類を伴う。Kékoro A 鉍徴地では、粒径 1mm 前後の黄鉄鉍と硫砒鉄鉍による鉍染帯が東西幅 600m 以上にわたり発達する。Kékoro B 鉍徴地でも同様な鉍染帯が東西幅 300m 以上にわたり認められる。
- 3) 分析結果によれば、大部分の硫化鉍物鉍染帯の金含有量は 50ppb 以下であった。しかし、幅 2m~4m の金濃集部(一般に 0.1g/t~0.6g/t Au)が鉍染帯中とサブロライト中にしばしば認められる。特に、Kékoro A 鉍徴地中央部の KRC-4 孔では、85g/t Au(深度 6m~7m)、10g/t Au(深度 7m~8m)などの高品位部がサブロライト中に認められた。このような金濃集部は硫化鉍物に富む基盤岩で掘削したボーリングに多く、硫化鉍物に乏しい個所にはほとんど存在しない。したがって金鉍化作用は硫化鉍物による鉍染に伴って生じた可能性が強いと推定される。

土壌地化学探査結果: 本地区の地化学探査概査(1993 年, JICA/MMAJ)では測線間隔が南北 1000m, 測点間隔が東西 250m であった。今年度の Kékoro 西部地区の土壌地化学探査では測線間隔を 500m, 測点間隔を 100m に設定した。また、Kékoro F, Kékoro A および Kékoro B 鉍徴地周辺を精査区域とし、測線間隔を 125m, 測点間隔を 50m に設定した。採取した土壌の大半は地表下 30cm 前後のカラパスである。分析元素は Au, Ag, As, Sb, Cu, Pb, Zn および Mo の 8 元素である。土壌地化学探査の結果、以下の4点が明らかとなった。

- 1) 確率密度分布の検討により、Au:25ppb と Au:100ppb を高 Au 地化学異常のしきい値と設定し、高 Au 地化学異常帯を抽出した。その結果、「Kékoro F 地化学異常帯」と「Kékoro A 北部地化学異

常帯」の2箇所が、規模、Au含有量ともに、他の異常帯に比べて圧倒的に優勢であることが明らかとなった。「Kékoro F地化学異常帯」のAu:100ppb以上の地化学異常帯は600m×600mの規模を有し、最高値はAu:2,890ppbを示す。「Kékoro A北部地化学異常帯」のAu:100ppb以上の地化学異常帯は1000m×1,200mの規模を有し、最高値はAu:1,220ppbを示す。

- 2) 主成分分析結果によれば、AuはAsとの相関が高く、金鉱化作用が黄鉄鉱と磁硫鉄鉱による鉱染に伴って生じた可能性が高いとする地質調査結果と調和的である。Au, As, Sb および Pbの負荷量(主成分負荷量あるいは因子負荷量)が高い第2主成分が鉱染帯の分布を説明し、CuとZnの負荷量が高い第1主成分がドレライト岩床の分布を説明するものと考えられる。
- 3) Kékoro A 鉱徴地と Kékoro B 鉱徴地の中間でRCボーリングを実施し、変堆積岩中の幅広い鉱染帯を確認したものの、Au品位は全体に高いものではなかった。この原因は、「Kékoro A北部地化学異常帯」が、ボーリング地点であるKékoro A 鉱徴地やKékoro B 鉱徴地よりもはるかに北方に位置することで説明される。
- 4) 「Kékoro A北部地化学異常帯」が、Kebekourou 山山頂の「Kékoro F地化学異常帯」の二次堆積物である可能性は、現時点では完全に否定できない。「Kékoro A北部地化学異常帯」が、初生的な金鉱床が原位置でラテライト化したものなのか、それとも、過去の巨大なマスマーブメントでKebekourou 山から滑落・堆積した土砂が後にラテライト化したものなのか、今後明らかにする必要がある。

5-2 Kékoro 東部地区

調査概要: Kékoro 東部地区は、ケコロ・バオレバニフィング地域東端のKékoro集落の北方約1km、Baoulé川右岸に位置する南北2km×東西1.3kmの区域である。首都バマコからの距離は約300kmで、四輪駆動車両で6.5時間を要する。1993年のJICA/MMAJによる土壌地化学探査でAu地化学異常帯が発見された(JICA/MMAJ, 1994)。今年度の調査は、ピット調査と精密地化学探査からなる。ピット調査では、地区内9箇所で深さ5mのピットを掘削した。土壌地化学探査では、1993年の採取間隔(南北1000m, 東西250m)よりもさらに細かく、南北250m, 東西50mで土壌試料を採取した。

地質および金鉱化作用: 標高360m前後の平坦地からなり、表層はカラパスとその風化土壌に覆われる。現在、綿畑として利用されている。地区北部には、比高20m前後のテーブル状台地があり、台地頂部はキュイラスに覆われ、その周囲は硬質のカラパスに厚く覆われる。地質は、主にBirrimien累層群の砂質片岩と泥質片岩からなる。変安山岩や変玄武岩もわずかに認められる。Birrimien累層群の片理の走向は南北で、傾斜はほぼ垂直である。地区北部では、閃緑岩(D)や花崗閃緑岩(Gr)の転石がまれに認められる。地区中央部で南北に延びる尾根上では、砂質片岩、泥質片岩、変安山岩および閃緑岩中に、黄鉄鉱と磁硫鉄鉱による鉱染と、幅数mmの石英細脈が認められる。石英細脈は、ごく少量の黄鉄鉱、磁硫鉄鉱、黄銅鉱等の硫化鉱物を含み、まれに直径5 μ m~20 μ mのエレクトラムを伴う。地区北部のN2,000測線周辺には、白色・粗粒の石英転石が分布する。鉱染を受けた変堆積岩類と閃緑岩のAu含有量は、9試料中、最も高いもので

18ppb, 多くの試料は 1ppb 未満であった。地区北部の石英転石の Au 含有量は, 3試料中, 最も高いもので 66ppb, 他の2試料は 1ppb 未満であった。

ピット調査結果: 9地点 (KPIT-50~KPIT-58) で深さ 5m の調査ピットを掘削した。各々のピットでラテライト断面のスケッチを行った後, 1m 毎の溝取りで分析試料を採取した。その結果, 次の3点が明らかとなった。

- 1) 表面から深部に向かい, 硬質カラパス (ca), 軟質カラパス・粘土質カラパス (cb), 斑紋帯 (af), サプロライト (sp) の順に成層する。いずれの層にも硫化鉱物の鉱染は認められない。酸化帯と還元帯の境界は, 深度 5m よりはるかに深いものと考えられる。
- 2) ラテライト中の特定の層準に, 系統的に金が濃集する現象は認められない。
- 3) 100ppb Au 以上の金含有量を示す試料はない。KPIT-51 孔の深度 0m~1m で 71ppb Au, 深度 1m~2m で 62ppb Au を示すのが最高で, 他の大多数の試料は 10ppb 未満である。

土地化学探査結果: 南北 250m, 東西 50m の間隔で土壌試料を採取した。採取された土壌の大半は, 地表下 30cm 前後の褐色のカラパスとその風化土壌である。分析元素は Au, Ag, As, Sb, Cu, Pb, Zn および Mo の 8 元素である。土地化学探査の結果, 以下の2点が明らかとなった。

- 1) 確率密度分布の検討により, Au:17ppb と Au:58ppb を高 Au 地化学異常の階級値と設定し, Au 地化学異常帯を抽出した。その結果, 17ppb 以上のまとまった Au 地化学異常帯は, 地区北西部の南北 500m×東西 800m の区域に分布する。58ppb 以上の Au 地化学異常は散点的に分布し, まとまった異常帯は形成しない。Kékoto 西部地区や Sagala 地区に比べ, Au 地化学異常帯の規模はかなり小さい。
- 2) 相関行列によれば, Cu と Zn に強い相関 (相関係数=0.88) が, Cu と Pb, Cu と As および As と Zn に弱い相関 (相関係数: 0.60~0.64) が認められる。Au と明瞭な相関を示す元素は認められない。

5-3 Sagala 地区

調査概要: Sagala 地区は, ケコロ・パオレ・バニフイング地域中央の Dogo 集落の北東約 16km に位置する南北 5km×東西 4km の区域である。首都バマコからの距離は約 200km で, 四輪駆動車両で 5 時間を要する。1993 年に地区南部の Au 地化学異常帯が (JICA/MMAJ, 1993), 1998 年には地区北部の Au 地化学異常帯がそれぞれ発見された (JICA/MMAJ, 1998)。今年度の調査では, 南部と北部の異常帯双方で, ピット調査と精密地化学探査を実施した。ピット調査では, 深さ 5m のピットが地区内 11 箇所掘削された。土地化学探査では, 1993 年の採取間隔 (南北 1,000m, 東西 250m) よりもさらに細かく, 南北 250m, 東西 50m で土壌試料を採取した。

地質および金鉱化作用: 標高 350m 前後の平坦地が広く発達し, その大部分はカラパスとそ

の風化土壌に覆われている。また、比高差 20m 前後(標高 370m 前後)の孤立したテーブル状台地が幾つか認められ、台地頂部はキューイラスと硬質のカラパスに厚く覆われている。当地区では、露頭や転石の分布に極端に乏しい。空中写真の判読結果と広域的な地質構造から Sagala 地区の地質を推定すれば、地区西部は花崗閃緑岩のバソリスからなり、地区中央部と東部は、Birrimien 累層群のワッケ質変砂岩とこれに貫入する多数の花崗閃緑岩岩株からなるものと考えられる。

地表踏査で得られた金鉱化作用に関する情報として重要なことは、1)石英転石がほとんど認められないこと、2)花崗閃緑岩中に、珪化と黄鉄鉱と硫砒鉄鉱による鉱染を受けた変砂岩のゼノリスがあること、3)角礫化・リモナイト化を強く受けた風化砂岩の転石(0.18g/t Au)があることの3点である。金鉱化作用が、硫化鉱物による鉱染を受けた変砂岩中に生じているとすれば、この産状は、Morila 鉱床とよく似ている。しかし、Sagala 地区では露頭と転石が極端に乏しく、変砂岩に貫入する多数の花崗閃緑岩岩株の分布形状、分布面積および産状についてはほとんどわかっていない。たとえば、空中写真で観察される NW-SE 方向の線構造は変砂岩の片理構造を示すものと考えられるが、この線構造は地区北部の測線 N2,000 より北側では顕著に認められるものの、測線 N2,000 より南側ではほとんど認められない。測線 N2,000 より南側に大量の花崗閃緑岩岩株が分布することに起因する可能性もあるが、地表を覆う厚いラテライトに阻まれ、地表踏査でこれを実証することは困難である。また、これら花崗閃緑岩岩株の貫入時期と主要な金鉱化時期との前後関係にも不明な点が多い。

ピット調査結果: Sagala 地区の中央部で深さ 5m のピットを 11 箇所掘削し、ラテライト断面のスケッチをした後、1m 毎の溝取りで分析試料を採取した。その結果、以下の2点が明らかとなった。

- 1)ラテライト断面は、地表面から深部に向かい、キューイラス(cr)、硬質カラパス(ca)、軟質カラパス(cb)、斑紋帯(at)の順に成層する。斑紋帯(at)が観察できたのは、11孔のピットのうち1孔のみである。すなわち、当地区のキューイラス(cr)とカラパス(ca, cb)の厚さは一般に5m 以上を有する。サブロライト(sp)は斑紋帯(at)のさらに下位にあるため、観察できなかった。
- 2)キューイラス(cr)、硬質カラパス(ca)および軟質カラパス(cb)中の特定の層準に、系統的に金が濃集する現象は認められない。すなわち、深度 30cm 前後から採取した土壌試料の金含有量と、深度 5m から採取したカラパス(ca, cb)の金含有量には、極端に大きな差異はない。実際、土壌地化学探査による Au 地化学異常帯の中心付近に掘削された SPIT-4 および SPIT-8 の2孔のピットは、他のピットに比べて金含有量が高い(40ppb~850ppb)。

土壌地化学探査結果:南北 250m、東西 50m の間隔で土壌試料を採取した。採取された土壌の大半は、地表下 30cm 前後の褐色のカラパスである。分析元素は Au, Ag, As, Sb, Cu, Pb, Zn および Mo の8元素である。土壌地化学探査の結果、以下の3点が明らかとなった。

- 1)確率密度分布の検討により、Au:15ppb と Au:60ppb を高 Au 地化学異常の階級値と設定し、高 Au 地化学異常帯を抽出した。その結果、「Sagala 地区南部異常帯」と「Sagala 地区北部異常帯」からなる2箇所の地化学異常帯を抽出した。Sagala 地区南部異常帯の Au:60ppb 以上の区域は 1,500m×1,500m の規模を有し、分析値の最高値は Au:2,120ppb を示す。Sagala 地区北部異常

帯の Au:60ppb 以上の区域は 1,000m×1,500m の規模を有し、分析値の最高値は Au:2,030ppb を示す。

- 2) Sagala 地区南部と北部双方の異常帯をあわせて、1,000ppb Au (1g/t Au) 以上を示す土壤試料数は 18 点に及ぶ。地化学異常帯の内部での Au 等含有量線の構造を検討した結果、Au 100ppb 以上の高 Au 含有量区域は、NW-SE 方向および NNE-SSW 方向の構造を有することが明らかとなった。これらの方向性は、鉱化に関連する裂隙系の存在を示唆しているものであろう。
- 3) 主成分分析結果によれば、As, Sb, Cu, Pb, Zn の5元素は、弱いながらも互いに相関があり(相関係数 0.5 前後)、これらの元素は第1主成分を形成する(寄与率: 0.48)。一方、Au はいずれの元素とも相関が小さく、Au 単独で第2主成分を形成する(寄与率: 0.23)。第1主成分の高得点域は、第2主成分の高得点域(Au 地化学異常帯とほぼ同一)の周囲を取り囲むように分布する。

5-4 第3年次調査への提言

Kékoto F 地化学異常帯、Kékoto A 北部地化学異常帯、Sagala 地区南部地化学異常帯および Sagala 地区北部地化学異常帯の4地区で、RCボーリングと物理探査を主体とする調査を継続することが望ましい。RCボーリング位置と物理探査測線の候補地を Fig.III-2-1 と Fig.III-2-2 に示す。

Kékoto F 地化学異常帯: はじめに南北2測線(合計 2,600m)の磁気探査を実施し、ドレライト岩床の形状を把握し、次に垂直のコアボーリング4孔を実施し、Birimien 累層群とドレライト岩床の境界面深度を正確に把握することが望ましい。境界面深度が比較的深く、将来十分な鉱量を確保できる可能性があると判断した場合には、南北 125m、東西 100m のグリッドで垂直のRCボーリングを実施する。サブロライト下の岩盤を 10m 程度貫くとすれば、1孔の平均掘進長は約 40m 前後と現時点では見積られる。調査数量は、磁気探査: 104 点(測線長 2,600m)、コアボーリング: 4 孔(総掘進長 160m)、RCボーリング: 24 孔(総掘進長 960m)である。以上の調査で、まとまった金鉱化帯が発見された場合には、コアボーリングとトレンチ調査を実施することが望ましい。

Kékoto A 北部地化学異常帯: 当異常帯の地表を広く覆うカラパスの一部(もしくは大部分)は、Kebekourou 山山頂の Kékoto F 地化学異常帯から滑落・堆積した二次堆積物が後にラテライト化したものである可能性がある。第3年次調査では、南北 250m、東西 100m のグリッドで垂直のRCボーリングを実施し、基盤の鉱化を直接確認することで、原位置での金鉱化作用と金に富む二次的堆積物を区別する必要がある。サブロライトの下底面深度は 30m 前後と予想されることから、1孔の平均掘進長は 40m と見積られる。また、初生的金鉱化作用に伴う硫化鉱物鉱染帯を把握する目的で、IP 探査を実施することを提案する。具体的には、測線間隔 125m、電極間隔 25m、n=1~5 の IP 探査である。調査数量は、RCボーリング: 51 孔(総掘進長 2,050m)、IP 探査測線長 21.7km である。ただし、まとまった鉱化帯を捕捉した際には、RCボーリングのグリッド間隔を南北 125m、東西 100m に狭めて実施するとともに、数本のコアボーリングを行うことが望ましい。

Sagala 地区南部地化学異常帯および北部異常帯: 地表はカラパスとその風化土壤に厚く覆われているため、基盤の鉱化を直接確認する目的で、南北 250m、東西 100m のグリッドの垂直 RCボーリングを提案する。1孔の平均掘進長は約 60m と見積られる。また、金鉱化作用に関連

する断裂系および硫化鉄物鉄染帯を把握する目的で、IP 探査を実施することを提案する。具体的には、測線間隔 250m、電極間隔 25m、 $n=1\sim 5$ の IP 探査である。調査数量は、RCボーリング:97 孔(総掘進長長 5,820m)、IP 探査測線長 38.5km である。ただし、まとまった鉄化帯を捕捉した際には、RCボーリングのグリッド間隔を南北 125m、東西 100m に狭め、さらに数孔のコアボーリングを実施し、金の産状を観察することが望ましい。

