

# 豪州における鉱山技術開発動向調査に関する報告

調査事業部海外協力課 縫部保徳報告

## 1. はじめに

新版地学事典(地学団体研究会編)によるとレゴリス(regolith)は“天体の表面を覆う破砕した未固結の岩石物質層の総称。特に月に対して使われることが多い。”と書いてあり、日本で鉱床探査に携わる人にはなじみの薄い言葉である。しかし、オーストラリアやアフリカのような数10mの深さにわたって岩石が風化を受けている地域での鉱床探査に関連する文献中にはレゴリスという単語が頻出し、レゴリスを理解することが鉱床探査にも非常に重要であるとされている。あとにも述べるように、これら文献中のレゴリスは新鮮な基盤岩と地表の間の粘土・土壌などすべての岩石を表す用語として使われており、地学事典で説明されているよりも幅広い意味を持つため、日本人には非常に理解しづらい用語である。しかし1990年代に入ってから、特に豪州において、レゴリスにより引き起こされる探査上の諸問題に対する知見が系統的に整理され、レゴリスが発達する地域での鉱床探査にはレゴリスを理解し分類、マッピングすることが非常に重要であることが世界的に認められてきている。金属鉱業事業団ではこれまで資源開発協力基礎調査や海外地質構造調査でニジェール、ブラジルといったレゴリス発達地域での調査を実施してきており、現在でも資源開発協力基礎調査でマリのプロジェクトを実施中である。これらのプロジェクト遂行にとって重要な方向性が得られるという観点で、豪州CSIRO(Commonwealth Scientific & Industrial Research Organization)においてレゴリスの発達・進化過程での地形との関連性、元素の挙動および探査手法について情報収集を行う機会を得たので、今回得られたレゴリスに関する知見等について報告する。

## 2. レゴリス地質と地化学探査

### 2.1 探査上のレゴリスの重要性

レゴリスは、新鮮な基盤の上に分布する未固結または二次的に結合された岩石であり、風化、削剥、移動及び堆積作用により形成されるものと定義されており、その中には破砕、風化を受けた基盤岩、サブロライト、土壌、有機物集合体、氷河堆積物、崩積層、蒸発性堆積物、風成堆積物が含まれる。一言で言いかえるならば、新鮮な岩石と空気間の岩石はすべてレゴリスとなる。

太古代や始生代といった古い地質年代を持つテレーンは、南は南極から北はロシアまで、全世界的にかなり深部まで風化を受けている。その中でも大陸の分裂や移動の影響で中生代以降も高温多湿の熱帯性気候の下にさらされたアフリカ、南米(ブラジル)、イ

ンド、豪州は継続的に風化が進み、さらに風化物質の削剥、堆積、再風化といった複雑な地質構造が形成された。このような複雑な地質構造を持つ地域においては、以下のような探査上のさまざまな問題点が存在する。

深部まで風化を受けたテレーンでの地化学探査上の問題と原因は以下のとおり。

問題	原因
困難な母岩の識別	鉱物学的、化学的、形態学的変化
多様なレゴリスの層厚と地表層準	部分的な削剥
微弱な地表兆候	強いリーチング
偽の二次富化作用	風化、削剥、堆積中の移動と再濃集
複雑な地球化学的特徴	多様な風化イベントの重複
運搬性被覆層と盆状堆積物によるマスキング	不毛な堆積物による被覆。非効果的な堆積後風化・続生作用の化学的拡散

深部まで風化を受けたテレーンでの物理探査上の問題と原因は以下のとおり。

問題	原因
レスポンスの減少または欠落	センサー、ターゲット間の距離の増加；堆積物の被覆によるマスキング
偽の異常の発達； ・磁気 ・電磁、IP  ・放射能	磁鉄鉱、マグヘマイトの濃集 低比抵抗と顕著な高比抵抗のコントラスト(塩分の多い水に影響) 地表の反応；移動された異常；化学的な移動度のための比平衡
・地震及び重力	ゾナーション、漸移的なコンタクト、比重のコントラスト
・リモートセンシング	地表の反応；移動された異常

探査におけるレゴリスの重要性は、サンプリングしているものがその場所から動いていないものなのか、移動してきたものなのかを判断することである。

## 2.2 レゴリスの形成とレゴリス用語

気候、気候の変遷、テクトニックな歴史、母岩の地質は物理的・化学的な風化作用により、土壌、レゴリス、地形の形成に多大な影響を与える。

温暖湿潤気候下におけるラテライト化風化作用の特徴をまとめると以下のようである。

硫化物、炭酸塩岩類、長石類、苦鉄質鉱物、長石類の漸進的な風化喪失速度の速い元素：S、Na、Cs、Ca、Sr、〔Mg、Mn、Zn、Ni(場合により)〕喪失速度の遅い元素：Mg、Co

二次鉱物中の難堆積性成分の維持

カオリン、鉄酸化物：Si、Al、Fe、Cr、Ti、V、As、Sb、Sc、Ga、Mn、Cu

アナターゼ、重晶石：Ti、Ba

鉄質層中での鉱物の溶解と置換

再移動、場合により喪失：Si、Al、Ba、K、Rb、Au

濃集：Fe

風化に強い鉱物中の難堆積性元素の濃集

Cr、Zr、Hf、Rb、Ti、REE、V、Ta、Nb、Th、W

上記のような風化作用を連続的に被った結果、形成されるレゴリスは基盤岩から上位に向かって、サブロック<sup>1</sup>(Saprock)、サブロライト<sup>2</sup>(Saprolite)、プラズミック(粘土)帯[Plasmic (clay) zone]または砂質帯[Arenose (sandy) zone]、斑紋帯(Mottled zone)、ラテライト質硬殻(Lateritic duricrust)、ラテライト質礫層(Lateritic gravels)、土壌(Soil)、ラグ(Lag)に分類される(図1参照)。サブロック及びサブロライトは風化が弱く原岩の構造を残しているもので、これらを合わせてサブロリス(Saprolite)と呼ぶ。サブロライトがさらに風化を被り、鉱物に変質する際の体積減少により原岩の構造が崩れてしまったものをプラズミック/砂質帯と呼び、原岩の構造を残さないレゴリス(プラズミック/砂質帯～土壌・ラグ)をペドリリス(Pedolith)と総称する。レゴリスと基盤岩の境界を風化フロント(Weathering front)、サブロリスとペドリリスの境界を破壊フロント(ペドプラズメーションフロント：Pedoplasation front)、プラズミック/砂質帯と斑紋帯の境界をセメンテーションフロント(Cementation front)と定義されている。

アルミニウムの鉱石であるボーキサイト、ニッケルの鉱石であるニッケルラテライトもレゴリスの一種であり、経済的な価値を持ったレゴリスの経済用語である。ボーキサイトは一般に気温が高く(年平均気温 22 以上)、雨が多い(年間降水量 1,200mm 以上)熱帯性の気候下で形成されるが、冬に雨が多い地中海性気候下でも形成される(冬に雨が降ることにより、水分が蒸発しにくく、リーチングが進みやすいため。反対に夏に雨の多いサバンナ気候下は、リーチングが進まず、ボーキサイト鉱床の形成には適さない)。前記、レゴリスの分類では、ボーキサイトは斑紋帯に当たる。ニッケルラテライトは超塩基性岩の風化により形成され、酸化物、ガーニエライト、スメクタイトのニッケルラテライトがある。それぞれは異なった風化環境下(気候、地下水位、地形等)で形成される。

---

<sup>1</sup> 風化する鉱物が 20%以下しか風化していない岩石

<sup>2</sup> 風化する鉱物が 20%以上風化している岩石

これまでにマリ共和国で実施された資源開発協力基礎調査では、フランス語文献をもとにレゴリスの分類をしており、大枠では上記分類に対応するもののサプロライトとプラズミック帯の分類はしておらず、ラテライト質硬殻をキュイラス(Cuirasse)とカラパス(Carapace)に細分している。しかしキュイラスとカラパスは叩いたときの音で分類したものであり、両者間での元素の挙動は変わらず、その分類はほとんど意味をなさない。豪州において産官学共同で取り組まれている地形及び鉱物資源探鉱プロジェクト(CRC-Leme: Cooperative Research Center for Landscape & Mineral Exploration)では、レゴリスに関する専門用語の統一化、分類を行い、レゴリス発達地域での探鉱活動促進を目指している。今後の我々が実施する調査でも、用語を統一した上でレゴリス発達地域での調査結果を統一的に解釈し、データを蓄積していくことが望まれる。

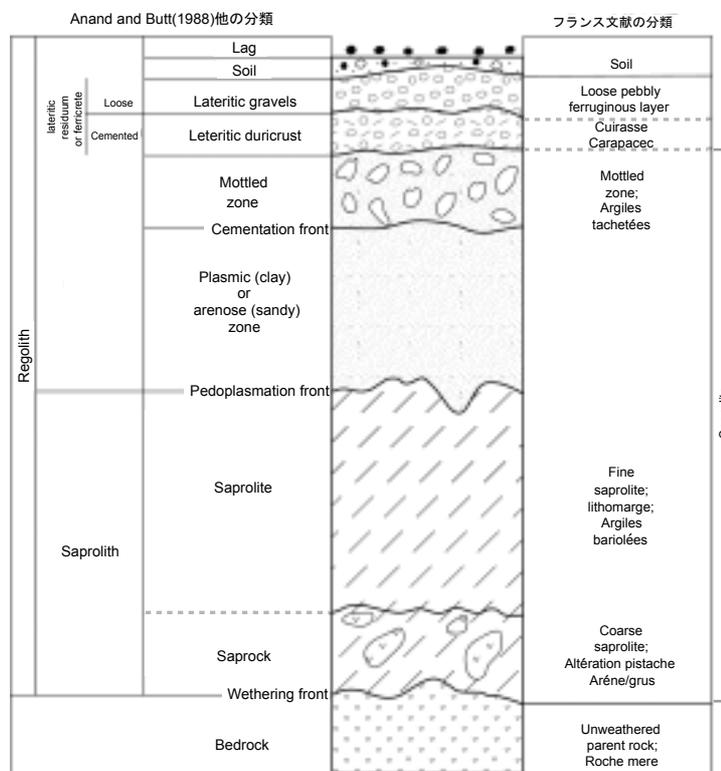


図1 レゴリス用語

### 2.3 多湿及び乾燥気候下におけるレゴリスの進化

一度形成されたレゴリスは、その後の大陸移動などによる気候の変化や地殻変動のため、多様な進化の道をたどる。

地殻の上昇がレゴリスに与える影響としては、①削剥の進行、②地下水面の低下、③鉄質及び珪質層の非可逆的脱水と硬化、④上部層のリーチングの進行が挙げられる。

多湿気候がレゴリスの進化に与える影響は、①リーチングの進行、②植生による削剥の鈍化、③厚い土壌の発達、④セメント層の破壊である。サバンナや熱帯性の気候下で

はシロアリ (termite) によるサブロライト等の持ち上げ運動も無視できない量となる (現に蟻塚のサンプリングは、金の地化学探査の有効な手法のひとつとして、西アフリカ一体では広く用いられている)。

乾燥気候下では、平原や谷での堆積作用の進行 (水の作用による運搬作用の影響が少ないため)、リーチングの減退、地下水の塩水化、金、ウラン、希土類元素、鉛等の移動 (塩濃度の高い地下水の影響による)、シリカ、アルカリ土類及びアルカリ元素の沈殿が進行する。カルグーリーのような内陸の乾燥気候下では、シリカの沈殿やカルクリートの形成が起きている。

## 2.4 レゴリス中の岩石タイプの分類

レゴリス中の岩石タイプを分類する方法としては、色 (colour)、組織・構造 (fabric)、鉱物組成 (mineralogy)、化学組成 (geochemistry) があげられ、これを効果的に組み合わせて岩石タイプを分類する。

色はもっとも有効な識別手段で、白ならばカオリン、赤ならば鉄酸化物、緑ならばスメクタイト・Cr・Ni・Fe<sup>2+</sup> が分類できる。しかし色の分類には個人差があり、統一的な分類は難しい。

組織・構造は、原岩の組織を残しているサブロライトを分類するのに有効である。ペドリス中での分類は困難であるが、ラテライト質皮殻中などに構造が残存している場合もあり、注意深く観察しなければならない。

## 2.5 レゴリス発達中における金の地球化学

レゴリスが発達する過程で金が溶融する条件をまとめると以下のとおり。

錯体	融解条件	沈殿条件	生産物
Thiosulphate	アルカリ性 やや酸化的	希釈 酸性化 酸化 還元	エレクトラム
Organic	中性～酸性 やや還元的～酸化的	還元	細粒の金 純度が高い
Chloride	酸性 酸化的	希釈 pHの上昇 還元	金 純度が高い
Hydroxide	アルカリ性 酸化的	希釈 pHの減少 還元	金 純度が低い

マリのようなサバンナ気候下では、特に地表及び上部サブロライトからの溶脱が、

Organic および Hydroxide によって進み、硬殻や斑紋帯中に二次的に沈殿した金は細粒で純度が高い。

西豪州のような乾燥気候下では、塩分の濃い地下水の影響により、枯渇帯(depletion zone)およびサプロライトの濃集ハローが形成される。この作用により浅部変質の鉱床が形成され、カルゲーリー地域の金鉱床の多くはこの浅部変質により濃集した鉱床を採掘している。また、Biogenic や Organic な影響により、地表層準での拡散も起こる。

## 2.6 地化学探査のためのレゴリス - 地形マッピング

地球化学的手法は広域的な評価から有望地の評価まで全ての探査ステージに適用されている。しかし、地形の発達と進化は、土壌やその他のレゴリス物質をサンプル媒体とする地球化学的手法を効果的に適用することによっていくつかの問題を生じさせる。効果的な地化学探査は、地形とレゴリスの発達により引き起こされる問題を認識すること、サンプリング媒体およびターゲットに対してデータの適切な解釈技術を選択することによってのみ達成される。このように、効果的なサンプリング戦略を構築するため、また、地化学データを正しく解釈するためにレゴリスの性質と起源、地形学的な過程、風化のスタイル、レゴリスと地形の関係を評価することは重要である。このことはレゴリス - 地形マッピングを行うことにより達成できる。探査のためのレゴリス - 地形マッピング手法のフローチャートは図 2 のとおりである。

レゴリス - 地形マッピングは過去 10 年以上にわたり、鉱物産業に大きな重要性を認められ、かつ、広く受け入れられ、使用されている。レゴリスが卓越するテレーンでの探査計画策定に際し多くの利益をもたらすにもかかわらず、いまだルーチン化されていない。レゴリス - 地形マップが探査計画のスタート時に完成されていることが理想的である。これらには、起源に関するバイアスのかかっていない事実図(factual map)とそれぞれのテレーンユニットに対する最も適切な地球化学的サンプリング戦略をまとめた解釈図(interpretative map)が含まれる。

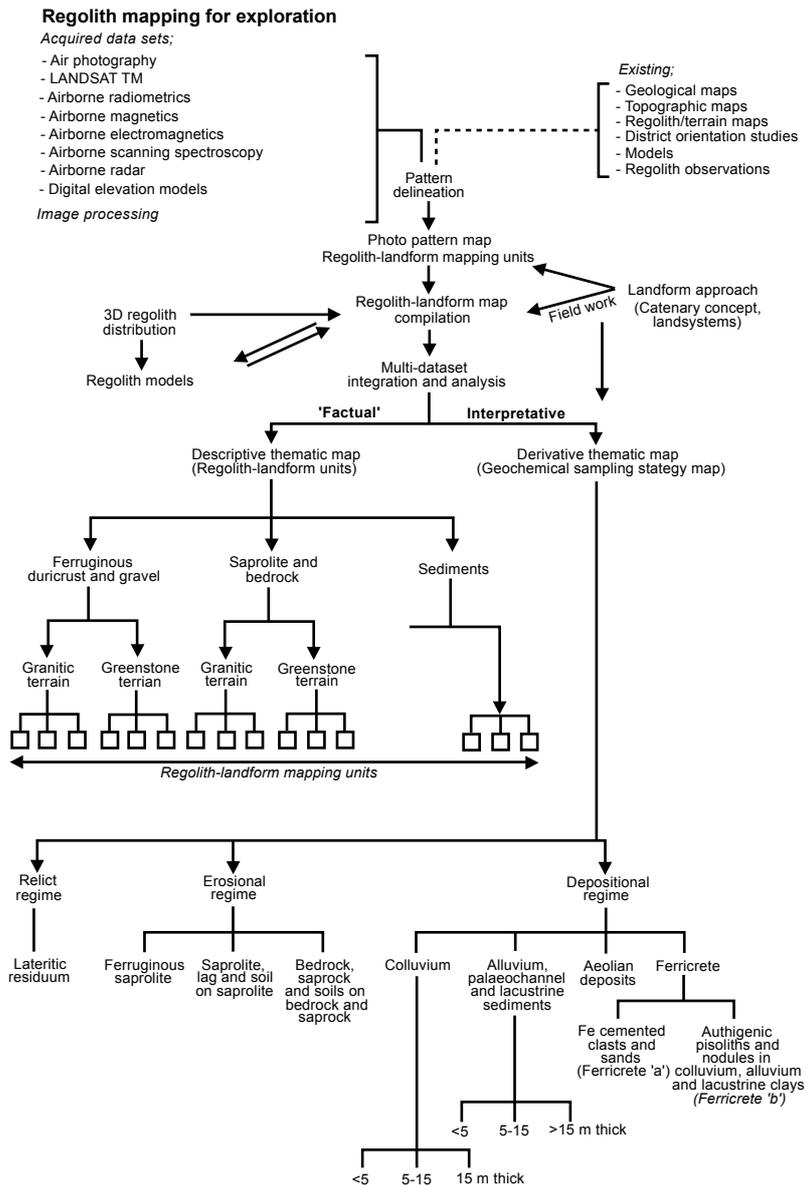


図2 レゴリスー地形マップフローチャート

### 2.6.1 事実図 (Factual Map)

レゴリスー地形マップ作成の第一段階は、客観 (objective) または事実 (factual) マップをつくることである。レゴリスー地形マップはレゴリスー地形ユニットを表すものである。レゴリスー地形マッピングユニットはレゴリス物質、地形および可能な限り基盤地質に基づき分類された地質単元を地図上で囲んだものである。それらは、空中写真の色合い、組織、模様、衛星画像、放射能や他のリモートセンシングデータ上で分類される。空間的、組成的にレゴリス物質は多様であるため、レゴリスを直接に分類すること、さらに重要な地域全体の統一的な分類は一般に困難である。地形とレゴリスは大部分が同じ過程を経て形成されており、レゴリスと地形の相互関係が理解されてからは、地形

がレゴリス分類の予測に用いられている。マッピングにおける重要な点は、観察したレゴリス - 地形と原地調査結果の関係を一致させることである。原地調査では、それぞれの地形点における地表及び地下のレゴリス物質分布に関する情報を集めなければならない。地下の情報はボーリング、崖、道路の切り割り、トレンチ・ピット、鉱山ピットを利用して戦略的に地点を選び確立する。ほとんどの探査ボーリングは RAB や RC を用いているため、岩片と岩石粉しか鑑定に利用できず、レゴリスを正しく解釈するためのデータとして利用することはテクニックを要求される。ラグのタイプ、植生、土壤の識別はもちろん、蟻塚タイプを識別することさえ、レゴリスユニットの分類と識別に有効である。堆積岩被覆層のレゴリス分布を把握するための予察ボーリングは地域レベルよりも地区レベル(100 ~ 500km<sup>2</sup>)の探査に有益である。

レゴリス - 地形マッピングの本質的な特徴はレゴリスおよび地形発達のモデルが同時進行で発展していることである。レゴリス - 地形モデルは、地形的特徴の配置、詳細なレゴリス研究、水系分布分析を含むような広範なレゴリス - 地形の分析により発展している。これらのモデルはレゴリス物質の分布を理解することに反映される。

マップの縮尺の選択も非常に重要である。空中写真の縮尺における均質な組み合わせでレゴリス - 地形の分類を代表させることが現実的であるため、レゴリス - 地形ユニットの選択と境界決定は、空中写真の縮尺に影響を受ける。より詳細な縮尺では、マッピングユニットはレゴリスの多様性により近づく。レゴリス - 地形マッピングユニットのためのレゴリス - 地形タイプは、主なレゴリスと地形のタイプを示す 3 文字または 4 文字のコードで表される。

レゴリス - 地形ユニットは鉄質の硬殻および礫、サブロライトおよび基盤、堆積物の 3 つの主要なグループに分けることが出来る。グループ間の区別は成因よりも記載的な特徴に基づいている。堆積物を除いたグループは花崗岩質とグリーンストーンテレーンに細分できる。

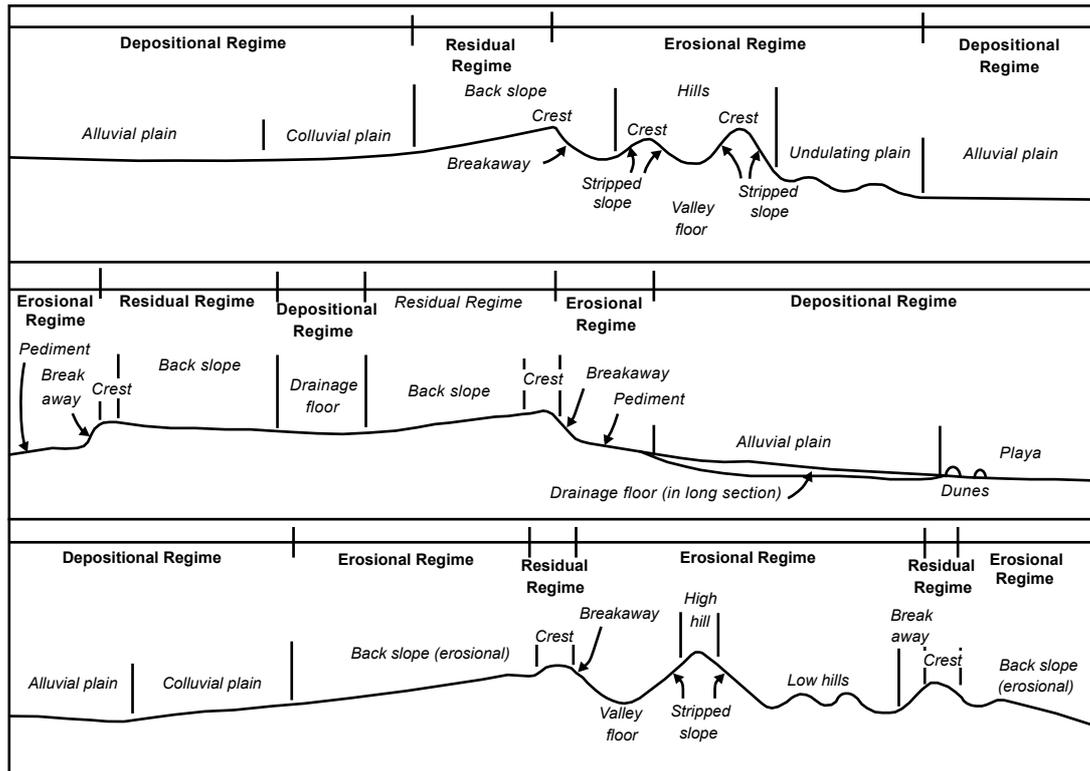


図3 レゴリス形態と地形との関係(起伏は強調してあり、実際はなだらかである)

## 2.6.2 マッピング手法

### レゴリス分類のためのリモートセンシング技術

イルガンクラトンの調査では、Landsat TM 画像が非常に有効なレゴリスマッピングツールであることが、特に植生の疎らな地域において証明されている。スペクトル強調処理をした場合に、Landsat TM データはレゴリス物質の性質に関連した重要なバリエーションを示す。適切な処理手法はシーン毎に異なる。非常に効果的な強調技術はバンド間比演算である。イルガンクラトンにおいて良好な結果を得た特定の組み合わせは、TM バンド 5/7、4/7、4/2 である。これらの比は鉄酸化物、フィロ珪酸塩<sup>3</sup>および水酸基を含む鉱物、石英に富んだ物質の分類を補助する。

処理された画像は、地形表現の乏しい場所においてレゴリス分類を広げたり、細分したりすることに利用される。レゴリスマッピングのために、モデリングや植生の影響を減少させるための主成分分析や LSFIT7 のような特定の技術が考案されている。

画像の解釈は DEM (Digital Elevation Model) と組み合わせたときにより有効になる。

<sup>3</sup> 層状珪酸塩鉱物とも。SiO<sub>4</sub>四面体が3つの酸素を共有して無限の二次層 (Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 構造を形成。雲母、緑泥石、蛇紋石などが代表的グループで、粘土鉱物もこのグループ。

Landsat TM イメージと DEM を組み合わせた三次元図を利用すると Landsat TM の反応を地形学的な枠組みから解釈することが可能である。

地球物理学的データを組み合わせるとレゴリス境界をさらに精密に描くことが可能である。空中ガンマ線探査は地表上部 25mm の放射性元素の含有量を定量するために用いられる。特定の岩石タイプを伴う放射性元素カリウム、トリウム、ウランは一般的な組み合わせであり、風化状況下においてこれらの元素は移動度が変化するため、レゴリス地質および進行中の物理・化学的移動の有用な判別体となる。

近年、空中合成開口レーダー (AIRSAR) データの解釈が、他のリモートセンシングツールでは得られなかった重要なマッピング能力があり、土壌と地形形成過程の理解に貢献することが示されている。400nm ~ 2,500nm までの反射スペクトル中で 128 バンドを測定する Hy-map は鉱物マッピングに非常に有効である。

空中磁気データは地質理解のために探査の第一段階で取得されているが、レゴリスマッピングの情報をも提供している。レゴリス中には磁性をもつ鉱物はあまり多くないが、地表付近の物質および削剥により二次的に分布している物質中には多くの場合マグヘマイトが存在する。これらマグヘマイトに富む堆積物は空中磁気画像上で容易にマッピング可能である。ヤンダルグリーンストーン帯ではマグヘマイトに富む礫が一般的で、現在とは異なる水系システムにより再堆積されている。空中磁気データは沢中にマグヘマイトを含むような地域において、古水系システム分布の詳細を理解する有力なツールとなる。

#### 解釈(地化学サンプリング戦略)図

事実図はレゴリスと地形的特徴を成因的に分類する解釈図の基礎となる。地化学サンプリング戦略図は戦略的解釈に基づき、サンプル媒体の選択・処理、サンプリング間隔、データの解釈を含む最適手法を示すものである。さらに、統一してデータを処理できる領域も示している。サンプル媒体の違いが大きい場合、実際の地化学異常は失われてしまう。例えば、白色サプロライトと鉄質サプロライトとは分類しなければならない。また、微弱かまったく地化学反応を示さない厚い崖錐性被覆層 (>5m) とサプロライトまたは硬殻上の薄い被覆層は分類しなければならない。これらグループ中の各ユニットは地化学背景に関連するレゴリス特性を記載する。同様にラテライト質残留層 (lateritic residuum) と鉄質固結物 (ferricrete) は分類しなければならない。

レゴリス - 地形ユニットは大きく 3 つの主要形態 [ 残存 (relict)、浸食 (erosional)、堆積 (depositional) ] に分類される。この手法はもともとイルガンクラトンで実施される地化学探査に適用することを目的として発展した、深層風化を被ったテレーンのレゴ

リス事実図(regolith factual map)の解釈手法の一つである。その手法は、地形には鉄質硬殻の広大な分布により特徴付けられた地形と侵食および堆積により改変された地形が存在するとの概念に基づいたものである。解釈はいくつかの地区をベースに組み立てられ、RED法(Relict、Erosional、Depositional)と略称されている。残存形態(relict regime)は地表付近のラテライト質残留層(lateritic residuum)で特徴付けられるグループである。侵食形態(erosional regime)はサブロライトや基盤岩によって特徴付けられる、部分的に浸食されたレゴリスが卓越するテレーン中のレゴリスマッピングユニットグループである。堆積形態(depositional regime)は、ラテライト質残留層、サブロライトまたは基盤岩を被覆するさまざまな層厚を持った広範な堆積物で特徴付けられる。上記の概念は単純化されたものである。なぜなら、ラテライト質残留層(残存形態)は準平原面上で広範に連続したユニットを形成するよりも、むしろ波状平原上の不連続な被覆層であり、複数回の風化と削剥のサイクルを被っているためである。その上レゴリスの分布と堆積物の組成は、地表は鉄質硬殻だけでなく、均質に鉄の濃集した赤色粘土を含んでいることを示している。侵食への抵抗性のため、赤色粘土は堆積形態中の堆積物に大きな影響を与える。この理由から、残留性赤色粘土プロファイルは決して現在の地表には出現せず、残存形態の定義には含まれない。これらの概念的な限界にもかかわらず、この手法は地化学サンプリングと解釈の実用的な指針となり、世界中のテレーンに同等に適用できる。

イルガンクラトンではさまざまなタイプの鉄質硬殻が存在する。これらは多様な残存、運搬物質を形成し、全てが同じグループに分類されていない。ラテライト質残留層は残存形態に分類され、一方、フェリクリートは堆積形態に含まれる。

適切なサンプリング媒体と地球化学的拡散モデルは残存および侵食形態には推定されているが、堆積物の地域では被覆された残留性レゴリスの保存度合いからモデルを構築しなければならないため、ボーリングによる追加情報が必要である。地球物理学的手法を用いれば地下のレゴリス分布をマッピングできる可能性がある。モデルタイプの構築により、鉱化作用の地球化学的反応の特徴が推定され、サンプリング戦略構築に利用されている。

## 2.7 残留性レゴリスと堆積性レゴリスの識別

堆積性被覆層と下位の残留性レゴリスの識別は鉱床探査に非常に重要である。初生組成の多様さとその後の変化のため、統一的な基準を見つけることは非常に難しい。特定のレゴリスタイプの起源を評価することにあたっては、フィールドでの相互関係、組織・構造、鉱物組成、化学組成のような全ての証拠を組み合わせる必要がある。ボーリ

ングのカッティングスを記載するにあたり、運搬された被覆層が存在する場所では、認識可能な残留性物質から上部へ向けて記載することを推奨する。これは被覆層内で発達した浅部の風化プロファイルと基盤岩から発達する深部の風化プロファイルを間違えることを避けるためである。以下のような基準が堆積性被覆層を識別するために利用されている。

### 2.7.1 地形学的セッティング

対象地域の地形学的枠組みを全般的に理解することは好都合である。浸食、堆積過程の貴重な情報は放射能探査、Landsat、DTM(Digital Terrain Model)及び空中磁気探査から得ることが可能である。地形の逆転が起きている場所以外を除いては、地形は堆積性被覆層の性質と層厚を密接に反映する。堆積性被覆層は高地では薄いか存在せず、低地では相対的に厚い。空中ガンマ線探査は地表上部 25mm の放射性元素量を定量できる。風化条件下での多様な堆積性のため、これらの元素はレゴリス地質と進行中の機械的・化学的な移動の有効な指標となる。これと類似して、空中磁気の応答が明らかに古水系に関連した樹枝状パターンを示す場所では、古水系下部の範囲にあたるレゴリスの上部 20m から 30m は斑紋サプロライト(mottled saprolite)よりも堆積性粘土(transported clay)か斑紋粘土(mottled clay)である恐れがある。地形的な高地にある鉄の付加された堆積物(ferricrete)は地形の反転を引き起こしている可能性がある。

### 2.7.2 組織と鉱物組成

保存された基盤岩構造や石英脈は、残存性レゴリスの鍵となる指標である。しかし、色、構造、鉱物組成、化学組成が大きく変質されているため、初生構造の認識は深層風化を被った環境では困難であるものの、サプロライト中の仮像は基盤岩識別を容易にする。砂利から巨礫サイズの沖積、崖錐、氷河性の礫岩は長期間の風化のためにサプロライトの局所的なパッチを形成するので、岩石構造の範囲を識別するときに注意を払う必要がある。

クロマイト、滑石、ジルコン、白雲母、ルチル、電気石のような、風化していないかわずかしか風化していない鉱物は、プロファイルの至る所で残っており、基盤岩組成の情報源となる。

レゴリスプロファイル中での成層構造や他の堆積構造の存在は、この特徴が変堆積岩のシーケンスで発達したサプロライト中で保存されていない限り、堆積性起源であることを示す。不整合は浸食面上のラグとして形成されたストーンラインによって認識できる。

多種の礫と亀裂の入った鉄質碎屑物の存在は、堆積物の起源が近傍ではなく、遠方であることを示唆する。マグヘマイトに富む礫層のレンズはその物質が一度地表に露出したことを示唆する。角張って外部へ広がっていく形態を持つノジュールやピソリスはその場所(in situ)で形成されている。薄い黄茶色～オリーブ色のキュータン(cutan)はその場所で形成されたかほとんど動いていないノジュールとピソリスに限定されると考えられている。しかし、薄く覆ったキュータンを持つピソリスが運搬された物質中で形成されるような古水系の中では、キュータンは誤解を生じさせる。

塊状粘土に充填された古水系は円形細粒(1～10mm)の石英を含む。粘土は一般に流路の端よりも流路の中央において大きな斑状を示す。灰色粘土中の種々の核を持つ同心状ピソリスは古水系環境の典型である。還元的な環境では、炭質物質が存在する。

ほとんどのレゴリス物質中(残留性または堆積性)で形成されることから、硬盤(hardpan: 赤茶色の膠着、パーティング上のマンガン酸化物の沈殿)は堆積の指標とはならない。地表付近のレゴリス中には通常、相当量の風成物質が存在する。シルト質石英は、フィールドにおいて、特に砂質土壌が花崗岩質岩を覆うような場所では識別が難しい。粒径分布では細粒物質が高い割合を示す。シルトサイズの物質は風成堆積物に由来する粘土質スフェライト(spherite)を伴い、Ti/Zr比が低い。

大量のコロフォーム組織、アルミニウム含有量の低いゲーサイトは鉄質固結物(ferricrete)の良い指標となる。植物の根は硬殻(duricrust)とサプロライトの両方に侵入することから、化石木の存在は堆積性を示す指標とはならない。しかし、相対的に量の多い化石植物の碎屑物は堆積性、湖または湿地環境で濃集したことを示唆している。

典型的な運搬性被覆層は結晶度の悪いカオリンで、これは PIMA(Portable Infrared Mineral Analyser: 可搬型赤外鉱物分析計)により同定可能である。

### 2.7.3 地球化学

堆積性レゴリスの組成と残留性レゴリスの組成が非常に類似した場所では、地球化学的分類は困難であるか、不可能である。最も露出のよいところでさえ、残留性レゴリスと堆積性レゴリスの境界を正確に決めることは、それらの間の複雑な相互関係のために不可能である。この分類の可能性は地球化学的解釈から考慮しなければならない。化学組成(例: カリウム、ジルコニウム、チタン、ケイ素)の急激な変化は不整合を示唆する。

## 2.8 サンプル媒体(Sample Media)

過去 20 年間、主要な調査の焦点は、予察的な研究を通じて潜頭性鉱床からの元素の拡散パターンを確立することにあてられた。異なるレゴリス - 地形環境のためのサンプ

リング手法も、ラテライト質残留物、鉄質サプロライト、土壌、サプロライトおよび地下水などの多様なサンプル媒体を使用することにより発達した。

### 2.8.1 鉄質物質(Ferruginous Materials)

鉄質物質は、世界中の多数の強い風化を受けたテレーンでの鉱床探査における潜在能力を持っている。Cost et al.(1999)は、ブラジル・アマゾンにおいてはラテライトが地球化学サンプリングに唯一利用出来る媒体であると指摘した。鉄質物質は、残留性濃集、局所的な鉛直方向の溶液の移動沈殿、水平方向の溶液の移動沈殿により、金を含む鉱化関連元素を濃集している。これら全てのメカニズムは特定のセッティング中にいくらかの広がりを持って作用するが、特定のメカニズムが卓越する度合いは鉄質基質、地形、気候の性質に支配される。地形発達への理解は地化学異常の分布を解釈することに極めて重要である。

複数の風化及び地形発達の過程はラテライト質残留層中の地球化学的拡散パターン形成に関係する。風化中に地形が低くなった結果、種々の相対的に風化に強い鉱物がラテライト質残留層に組み入れられる。これらは抗風化鉱物、分離鉄酸化物、酸化した硫化物起源のゴッサン片を含む。ラテライト質残留層中の金はラテライト質風化中の化学的移動により濃集され、錯体は土壌中の有機物質の早い浸食作用により作り出された腐植酸に伴い形成される。錯体の還元は鉄酸化物中の銀含有量の少ない細粒な金の沈殿を引き起こす。ラテライト質残留層は起伏に富んだ地形上で発達するので、拡散は高い台地、斜面から低地まで広がる。ラテライト質残留層が地形的低所を形成するような場所においては、濃集した鉄の一部は移動してきたものである可能性がある。微量元素の一部(ヒ素、銅)は類似した挙動を示し、大きな拡散ハローを形成する。ラテライト質残留層の形成時期が地化学異常の強さと範囲に寄与していることが予想されるが、これを支持する有用なデータはない。機械的拡散は風化に強い鉱物に含まれるスズ、金、クロム、タングステン、亜鉛のような元素に影響を与える。しかし、礫の機械的拡散が長距離(>100m)にわたり起こっているところでは、外来物質の付加のために希釈が起きているにもかかわらず、ハローが拡大する。ヒ素、銅、タングステン、アンチモンのような表面の礫中に濃集する元素は、特定の脈や鉱化層準の位置よりも鉱化作用の概略の位置を表すだけに過ぎない。ところどころで、異常なノジュールやピソリスの物理的運搬は、局所的な濃集および不毛な岩石を被覆する砕屑性礫で構成された二次的な地化学異常を形成する。その異常はソースからは離れている。ピソリス、ノジュールの側方移動距離は、斜面の傾斜・地表の流量・主要水系への近接度など様々な要因に依存する。古地形を理解することはこのタイプの異常を解釈するためにきわめて重要である。逆に、

地化学的な異常を持たない礫が鉱化したラテライト質残留層や初生鉱化作用を覆ってしまうこともある。

ダーリンレンジ(Darling Range)[例：ボディントン(Boddington)]では、大量の雨と有機物に富んだ土壌水が地表のピソリスから金の溶脱を引き起こし、ボーキサイト帯底部中に再沈殿させている。このことが探査に与える意味は、特定の時期に多湿な気候下では、ラテライト質テレーン中の金鉱床の地表徴候が必ずしも強いわけではないことを示している。

ラテライト質残留層は数々のサイクルの変質、鉄酸化物の沈殿、粘土の溶解を被っている。同様の過程がラテライト質残留層の色々な場所での金の移動と再沈殿を引き起こしている。このことはピソリス形成期間中に何回も成長したキュータン中での金の存在により証明される。類似した結論がFreyssinet(1993)により南マリで報告されている。

一般的に、磁性岩片と非磁性岩片の間の金と微量元素の存在度には大きな違いがある。磁性および非磁性岩片の鉱物組成は元素の濃集に重要な役割を果たす。磁性岩片は、ゲーサイトおよび赤鉄鉱が山火事の際の熱により熱せられたことによって形成されたことを示すマグヘマイトを含む。非磁性岩片はおもにゲーサイトと赤鉄鉱を含む。経験的な観察事実は、いくつかの元素はゲーサイトからマグヘマイトへの変質の際に追い出されることを示唆している。6M HCl を使った溶融実験では、後にマグヘマイトおよび赤鉄鉱に変質されたゲーサイトと赤鉄鉱に入った金属元素は初期段階の溶融で初生鉱物相中と比較してより簡単に抽出される。これは金属が結晶境界や欠損位置に移動するためと考えられる。

ラテライト質残留層の地球化学組成は、イルガンクラトンでのベースメタル、金の探査および鉱床生成区を発見するための探査にうまく適用されている。ラテライト質残留層(ラテライト質ノジュール、ピソリス、硬殻)は地表、硬殻に覆われる地域の地表付近、堆積形態内で実施するボーリングにより採取できる。しかし、地中海性気候の環境下(ボディントン)で、溶脱により地表層からの金の枯渇が起きているような場所では、下位層からのサンプリングが推奨される。サンプリング間隔は広域調査のための1kmからボーリングターゲットを絞るための50mまでさまざま、金に加えて指示元素(ヒ素、ビスマス、アンチモンのような)も分析することが理想的である。露出のある場所では、サンプルは半径5~10mの範囲から採取しなければならない。被覆された場所では、サンプルは1mのボーリングか2mかそれ以上をコンポジットしたもので代表させる。しかし、コンポジットを利用した場所では、同じユニットから採集し、近接したユニットが混合してはならない。埋まったラテライト質残留層をサンプリングするためのボーリングを実施するにあたって、ラテライト質残留層を識別し、運搬された礫およびフェリク

リートと区別することが重要である。

地下水の水平・鉛直方向の動きによる化学的拡散はフェリクリート及び斑紋堆積物中に拡散ハローを形成する。この状況下では、強い風化が堆積性シーケンスの堆積後も続いている。このような風化は地下水の鉛直及び水平方向の移動を含んでおり、地下水は堆積岩被覆層だけでなく風化された原地性岩石中にも流れることが出来る。このことは被覆シーケンスへの地球化学的拡散の可能性を示唆する。

フェリクリートには慎重な評価が必要である。堆積物中で原地性ピソリスが形成されるような場所では、ピソリス形成中に下位に存在する鉱体からの金の濃集が起こる可能性がある。碎屑性フェリクリートは一般にローカルスケールのサンプル媒体としては不向きであるが、碎屑性成分や水の作用に由来するゲーサイトセメント中に鉱化作用の一部を示す場合がある。堆積物中で発達した斑紋帯の使用は適切である場合とそうでない場合がある。適切であるか否かは、オリエンテーション調査により試してみる必要がある。

ラテライト質残留物が存在しない場所では、サンプリング間隔を非常に狭くしなければならぬものの、鉄質サブロライト、斑紋サブロライト、鉄分離物(iron segregate)が適当なサンプリング媒体である。堆積形態中ではボーリングが必要である。それぞれのサンプルタイプに対し異なるしきい値を設定しなければならない。

斑紋サブロライト、ラテライト質残留層、またはフェリクリート中では、鉄質成分中で金が枯渇し、粘土質または珪化した基質中に金が富んでいる。鉄質帯成分間の金含有量の多少を踏まえたサンプリング手法を採用しなければならない。

## 2.8.2 土壌(Soils)

土壌サンプリングは風化の進んだテレーンでの探査に非常に広く用いられている。しかし、土壌は多様な出発物質から発達している。地化学的な反応とその手法の成功は出発物質の組成に依存する。硬殻(duricrust)や礫に覆われた地域では、土壌の組成は硬殻の組成を反映し、拡散パターンも類似する。しかし地化学的なコントラストは堆積性物質からの希釈により著しく弱められている。したがって、ラテライト質残留層を採取するほうが、望ましいと考えられる。あるいは、土壌の粗粒物質が概してラテライト質ノジュールやピソリスで構成されていることから、これらを採取するのが適当であるかも知れない。

浸食形態(erosional regime)中では、土壌はサブロライトまたは基盤岩に由来する。拡散ハローは一般的に小さい(2、3m か数 10m)。土壌中の拡散はサブロライト中よりも大きく、プロファイルの切られ方と過去および現在の溶脱の広がり依存して、コント

ラストはラテライト質残留層よりも強い傾向がある。このように土壌サンプリングは浸食形態中、特に有望地評価では非常に効果的である。最適なサンプリング層準、サイズ、サンプリング間隔はオリエンテーション調査によって決定しなければならない。侵食地域中の多くの土壌は混合物(残留物、風成物など)である。複数の手法を使うことが確実な識別に必要不可欠である。塩基性や超塩基性岩上に土壌が分布しているような場所では、Ti/Zr比と石英含有量で風成物の寄与を簡単に同定することができる。

堆積形態(depositonal regime)での土壌サンプリングは有効性が限られている。土壌は運搬性被覆層中で発達し、効果的な水生的および機械的拡散が不足しているため、潜頭性鉍化作用の地表徴候はわずかししか表れない。被覆層が薄い(<5m)ところでは、被覆された鉍化作用のいくつかは徴候がでる可能性がある。部分的抽出分析(partial extract analyses)が堆積性地域における土壌中のハイドロモルフィックな微弱な異常を検出するために使用されているが、概して、全分析と類似のパターンを示すか偽の正異常を示す。イルガンクラトンにおいてよく研究されている土壌の金探査に適用された複数の手法は、全分析と同様、潜頭性鉍化作用を検出するのに成功していない。潜頭性鉍化作用が原因と考えられる土壌や浅い堆積性被覆層中の地化学反応は、堆積性カバーが5m(局所的に10m)よりも薄いときにのみ検出され、そのような状況下では全分析から明らかにできる。

### 2.8.3 ペドジェニックカルクリート(Pedogenic Calcrete)

レゴリス中のペドジェニックカルクリートは鉍床探査に長所と短所の両方を持つ。ペドジェニックカルクリートは、探査目的の容易に識別できるサンプル媒体(一般にBまたは集積層)の代表である。地化学サンプリング媒体としてのカルクリートの最初の記録の一つはイルガンクラトン中に表れ、ニッケル鉍床探査の手段として研究された。カルクリートは地球化学的希釈物として考えられ、多くのペドジェニックな物質が土壌へ集積したものであり、それらの沈殿は元々低含有量の多くの元素を更に低含有量にする。高pHは多くの元素の化学的な移動度と拡散を減少させる。逆に金は土壌のカルシウム質層準で濃集し、潜頭性一次または二次的鉍化作用の地表付近での示徴を強めることを生じさせる。金とカルシウム(Ca-Mg)炭酸塩の分布は非常に密接な相関関係があり、一般に土壌プロファイルの上部1~2mにおいて、10m以上の堆積性被覆層に覆われる鉍化作用の地表徴候が得られる可能性もある。カルクリート層準は、残留性の鉄質物質(residual ferruginous material)が存在するところ以外では金探査に適した地表サンプル媒体である。このような相関関係を示す他の鉍化関連元素はない - 実際にほとんどの元素は炭酸塩により希釈されている。カルクリートサンプリングは広域および鉍徴地

評価に利用でき、一般に石灰質層準すべてを採取するトラック搭載型パワーオーガーを使用して実施される。別の方法としては、浅いピットを人力によって掘削し、硬化カルクリート層準をバールや類似機械を使用して採取する。

その分布の広さにも関わらず、カルクリートは地形を横断して均等なサンプルを採取できない。なぜなら、従来の土壌サンプルと同様に、カルクリート中のバックグラウンドおよび金しきい値がレゴリス - 地形形態から決定した出発物質によって変化するからである。カルクリートは土壌プロファイル中に異なった形態、位置に出現し、異なった年代、発達ステージまたは気候の変遷を表し、異なる金属濃集や希釈レベルを示す。堆積性形態中での炭酸塩サンプリングの有効性は、特に堆積物が 5 ~ 10m を超える場所において、未解決である。その上、偽または偶然の異常が、碎屑性の金を含む鉄質微細物または高所に露出する鉱化作用を起源とするサブロライトに由来して出現する。このように、カルクリートを探査に有効に使用するならば、さまざまなカルクリートタイプが発達する場所でのレゴリス - 地形セッティングの正しい認識が不可欠である。

#### 2.8.4 堆積物

堆積物は探査上の難しい問題ならびに課題を提起する。その外来性の起源から堆積物はサンプル媒体に適さないと考えられる一方で、多くの堆積物は古く、続生作用と堆積後の風化の影響を受けているので、その組成に下位に存在する鉱化作用からのハイドロモルフィックな拡散の影響を受けている可能性がある。ハイドロモルフィックな拡散は細粒物質を富ませることが予測される。堆積物が薄いところでは生物による運搬が物理的に堆積物を混合し、微粒子を地表付近へ再移動させる。鉱化後に風化した残留層の侵食と堆積は、崖錘性・沖積性堆積層中の碎屑性拡散ハローを形成する。堆積物中への拡散は一般に不整合の約 3m 内に限られており、この上位をサンプリングすることは無駄である。堆積物の組成は大まかに後背地の組成を反映しているものの、一般に後背地は広すぎて、堆積物から起源を決定するための特徴づけは非常に困難である。

不整合を形成する堆積性および残留性物質(“境界”サンプル)は、元素の二次的濃集の場所である。不整合自身が選択的な浸出帯または地下水流路であった場合、拡散は削剥中、残留性または部分的に堆積性物質の形成中および堆積後に発生する。不整合の位置を決めるためには正確な記載が不可欠であり、コンポジットサンプルを使うならば、可能な限り堆積性成分と残留性成分が混合しないようにしなければならない。

イルガンクラトンの塩分を含む地下水は化学的に金を拡散させ、レゴリスの上位層準の金を枯渇させ、下位層準の金を濃集させる。残留性レゴリス中では、この状況は概してサブロライト中で観察される。しかし、風化した鉱化システムが古水系に不整合に覆

われる場所では、強い金の拡散(碎屑性または化学的)が古水系堆積物中に起きる。位置、形成メカニズムおよび鉱化作用の時期が何に支配されているかはっきりとしないが、連続的な乾燥気候の間特定の酸化還元環境に関係しているのであろう。流路の位置は部分的に構造的に支配され、主要な断層および破砕帯に平行して走り、断層や破砕帯の多くは断続的に鉱化している。

#### 2.8.5 ラグ(Lag)

岩片がラテライト質起源で、ピソリス、ノジュール、斑紋や鉄質サプロライト片で構成されるとき、ラグはサンプル媒体としてもっとも有用である。ラグサンプリングは鉄質岩片のラグが豊富な浸食地域でもっとも有効な手法として採用される。ラグは地表における機械的拡散のため土壌よりも広範な異常を示す。ラグ(1kg)を地表から集めて、細粒の堆積性物質と粗粒岩片の両方を捨てるために篩い分けする。サンプリングの容易さを除いては、ラグサンプリングは残存形態中のラテライト質残留層や(粗粒物質)土壌サンプリング以上のメリットは無く、ラグが堆積性物質の薄層に由来するならば、さらに不十分である。土壌と同様に、ラグは概して堆積性地域(堆積性被覆層が薄く(<2m)、生物による攪拌によりラテライト質残留物が地表に持ち上げられている場所は除く)において不適当なサンプル媒体である。ラグ、土壌および堆積性被覆層の組成は起源物質の組成を反映し、下位に分布する基盤岩の組成は反映しない。起源物質が分かっている場所では、ラグは沢砂と等しく広域サンプリングに有効である。

#### 2.8.6 サプロライト

サプロライト中の地化学異常はほとんど残留性で、ハイドロモルフィックな拡散ハローはいくつかの半乾燥環境下では100mを超えるにもかかわらず、酸化された鉱化作用から数10m以上はほとんど広がらない。このため、サプロライト中の調査はボーリング間隔と深度が重要である。サンプルがサプロライト深部から採取されたところでは、拡散は異常が限定され、初生鉱化作用とほとんど同じ幅である。半乾燥気候下では酸化された塩分を含む酸性地下水中の金移動の結果、顕著な金の枯渇(100ppbかそれより低い)がサプロライト上部から40~50mまであり、概して下位の半水平帯に浅部変質の濃集がある。しかし、一般的な指示元素であるヒ素、アンチモン、ビスマス、タンゲステンは強い塩水環境下でさえ枯渇帯をとおして残存している。それゆえ、多元素分析は溶脱を受けた鉱化作用の識別を容易にする。不整合近傍の鉄質サプロライトがもっとも適切なサンプル媒体であるが、そうでなければ、注意深いターゲットの絞り込み、深いボーリング、多元素分析を組み合わせることがベストな選択であろう。

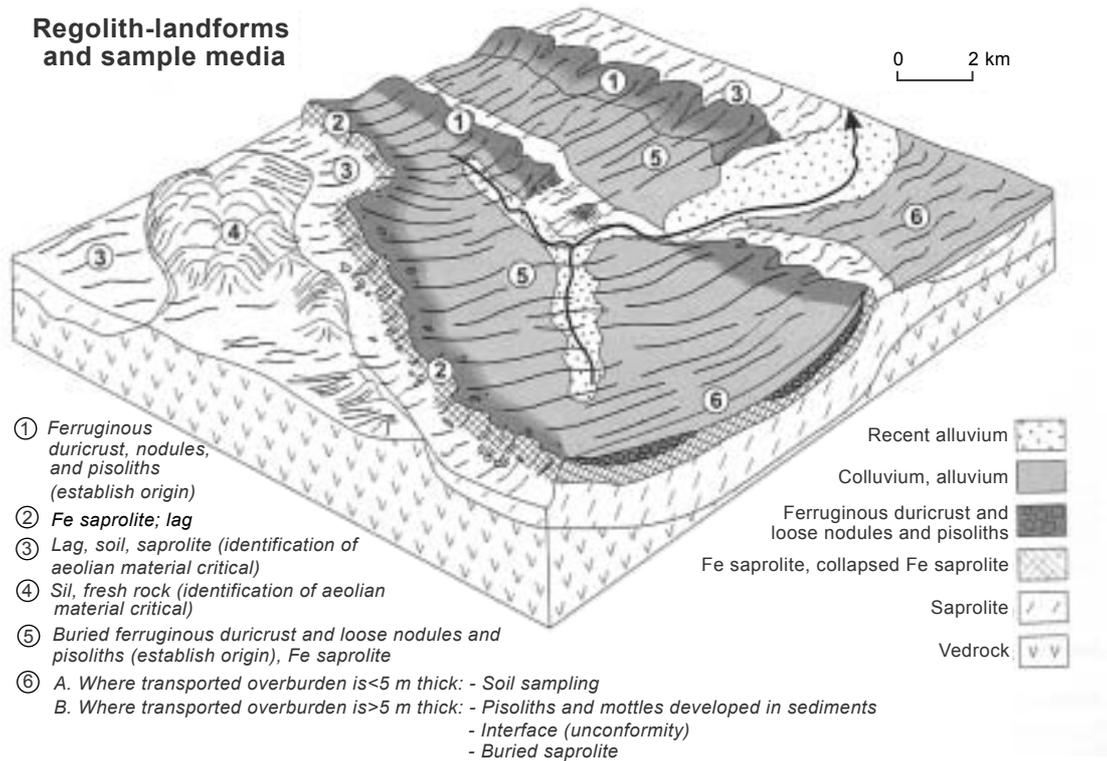


図4 レゴリス-地形の関係と適切なサンプリング媒体

### 3. まとめ

風化土壌の発達するテレーンにおける探査技術に関して、豪州パースにある CSIRO で情報収集をした。その結果、得られた知見および所感は次のとおりである。

- レゴリスが厚く発達する地域ではレゴリス-地形マップを作成する事が必須である。
- ・レゴリスを分類することは地化学探査データを解釈する際に非常に重要である。堆積性レゴリスが鉍化作用に関連する地化学異常を覆い隠してしまうことは言うまでもないが、基盤岩→サプロライト→粘土化帯→斑紋帯→硬殻と変化するレゴリスプロファイルにおいて元素は特徴的な挙動を示す。これまでのレゴリスの発達する地域の地化学探査は、地表での基盤岩の分類が困難であるために、グリッドサンプリングを行い、レゴリス物質を区分することなく統計処理を行っていた。このため、偽の異常に精査を実施したり、微弱な異常(分布範囲が狭い、強度が弱い)を見落としていた可能性がある。
- ・レゴリスの分類とともに、サンプル媒体の選択が非常に重要である。風化の過程で鉄が濃集して形成されるピソリスやノジュールは、3kmのサンプリング間隔でも地化学ハローを捉えられる場合があるのに対し、サプロライトではほとんど異常が広がらないため、サンプリング間隔を狭めて調査を実施する必要がある。調査地域毎に適当な

サンプル媒体やサンプルサイズが異なるため、調査を実施する前にオリエンテーション調査を行うことが望ましい。

- ・上記の問題を解決するためにレゴリス - 地形マッピングが非常に重要である。レゴリス物質と地形は密接に関連しており、注意深く地形分類をしていくことでレゴリス物質を分類することが可能である。地形分類とグランドトランスを効果的に組み合わせることにより、我々にもレゴリス-地形マッピングは可能であるとの印象を受けた。

サブロライト中の鉱化作用の有無を確認すれば効率的である。

- ・サブロライト中では元素の拡散はほとんど起こらず、濃度の変化もほとんど起きていないと推定される。サブロライトは風化の影響で柔らかく、トレンチ、ピット、RCボーリングやオーガーボーリングを用いることにより、短期間で広範囲な調査実施が可能である。初生鉱化作用の確認には、まずサブロライト中の調査を実施すればよいであろう。

サンプルの前処理には十分に注意する必要がある。

- ・レゴリス物質を用いて岩石の分類をする場合には、これまでの地化学探査の際に用いられていた王水分解では珪酸塩やジルコンなどの難溶性鉱物が解けきらないため不十分であると考えられる。マリなどでは花崗岩質貫入岩と金鉱化作用に密接な関係があり、レゴリスから基盤岩の分類が可能であれば非常に有用であることから、地化学探査を実施する場合には、4酸分解やフージョンを用いて溶解残りの鉱物を出さないようにする必要があると考えられる。

類似環境下での調査結果・知見を系統的に蓄積していく必要がある。

- ・CSIROには世界中からレゴリス専門家を多数集めており、システマティックに知識とデータの集積が行われている。これまでもMMAJでは西アフリカやブラジルといったレゴリスが厚く発達する地域の調査を多数実施してきており、今後はレゴリス地域での調査に関するノウハウを系統的に蓄積していく必要があると感じた。

#### 4. 写真集



Carosue Dam 鉱山(カルグーリー)

- ・ 基盤の変堆積岩からラテライト質クラストまでレゴリスプロファイルが観察できる。



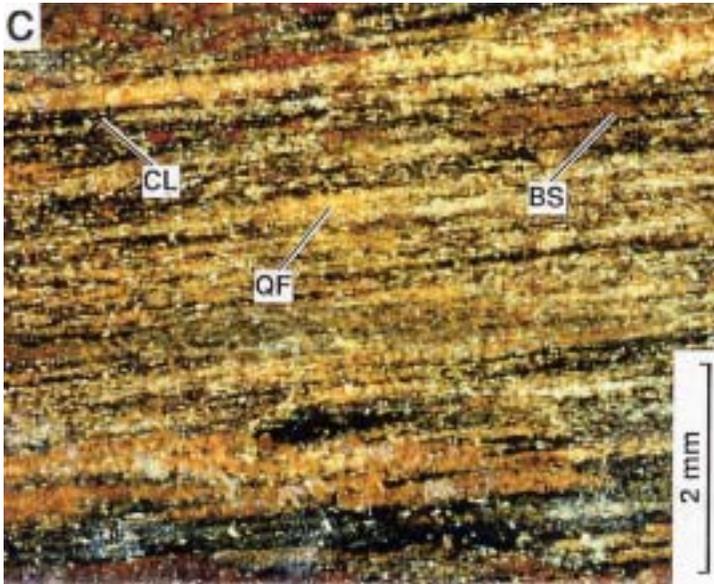
カルグーリーのスーパーピット

- ・ レゴリス部分だけでなく、基盤岩まで掘削が進んでいる。所々に坑内掘削時の坑道を見ることができる。



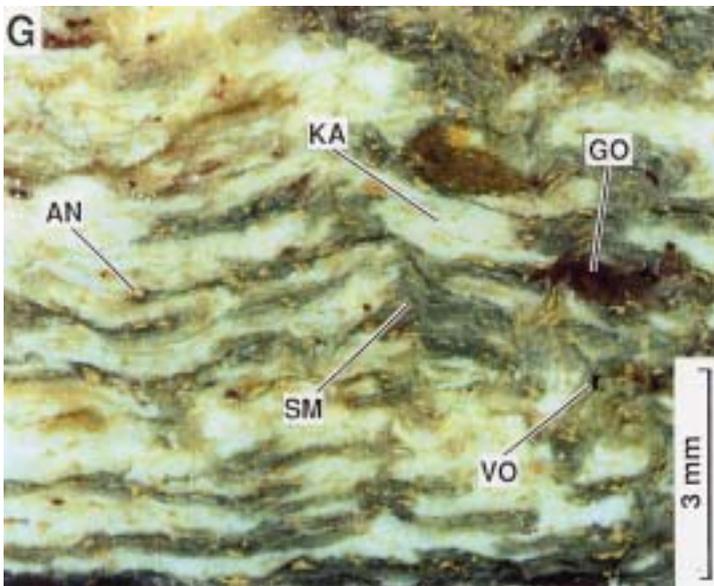
Mt. Percy 鉱山(カルグーリー)

- ・ 白色のサブロライトを堆積性のレゴリスが覆っている。堆積性のレゴリス上から地化学サンプリングをしても、下位の鉱化作用を検出できない。



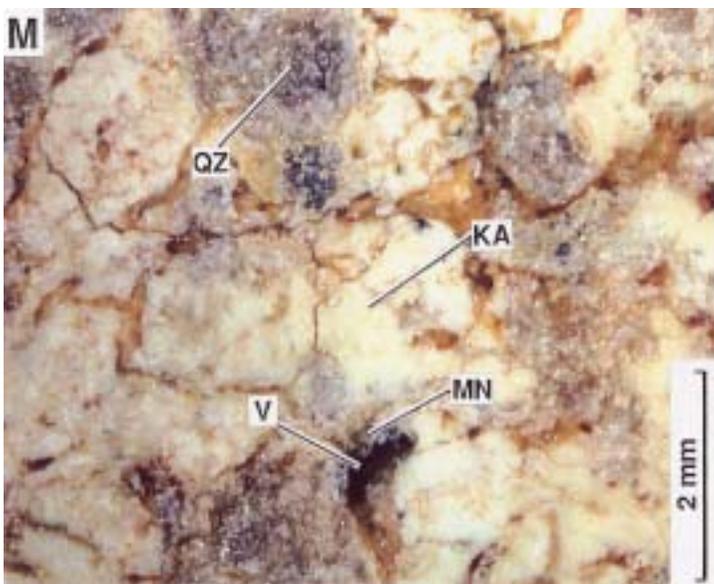
石英-緑泥石片岩(サブロック)

・原岩の構造とほぼ同じ。



石英-緑泥石片岩(サブライト)

・カオリンができていますが、原岩の構造は残っている。



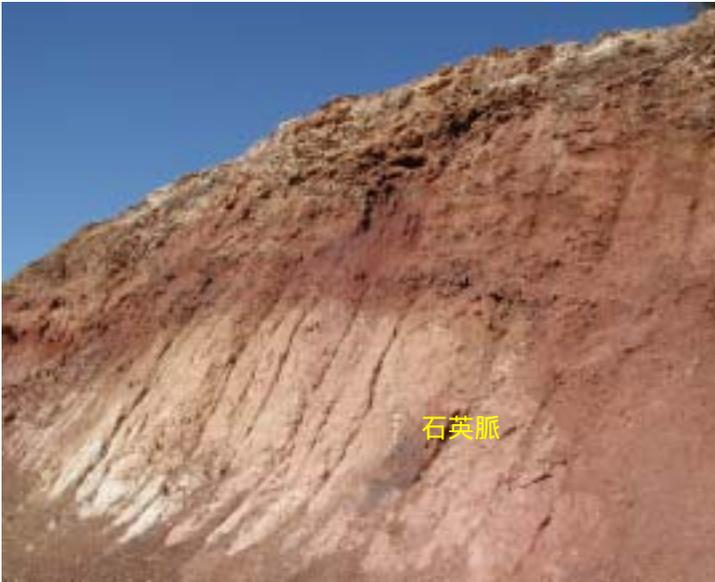
石英-緑泥石片岩(プラズミック帯)

・風化が進み、原岩の構造がくずれている。



基盤岩(Mt.Gibson鉱山)

- ・ 基盤の変火山岩  
(グリーンストーン)



サプロライト(Mt.Percy鉱山)

- ・ 画面中央付近に石英脈が確認  
できる。



斑紋帯(Mt.Gibson鉱山)

- ・ 鉄(Goethite)の濃集した部分  
と粘土質の部分が斑紋状にな  
っている。



プラズミック帯  
(Huntry鉱山：ポーキサイト)

- ・風化が進み原岩の構造は残っていない。露頭はGibbsiteの色である。



ラテライト質硬殻(Darling Range)



カルクリート(Mt. Gibson鉱山)

- ・植物の根の痕跡を炭酸塩が埋めている。有効な金のサンプル媒体である。



#### 残存形態の地表

- ・ラテライト質硬殻のラグが散乱している。ラグの種類は1種類である。



#### 残存形態の地形

- ・緩傾斜。平坦に近い。  
左端の人物がCSIROのAnand博士。



#### 残存形態の地表、ピソリスのラグ

- ・キュータン(黄土色の皮の部分: goethiteのコーティング)が発達している。概査に適切なサンプル媒体である。



#### 浸食形態の地表状態

- ・ サプロライトの露出と同質のラグが分布。ラグの種類は単一である。



#### 浸食形態の地形

- ・ 残存形態に対し傾斜が急である。



#### 堆積形態の地表状況

- ・ 石英、鉄質ノジュール、ピソリスなど複数種類のラグが分布。



#### 堆積形態の露頭

- mega-mottle と呼ばれる大規模な斑紋帯を形成。典型的な堆積性レゴリスの一つ。



#### 不整合面

- サプロライトと斑紋帯の間に不整合面がある。不整合面は地化学探査で重要である。人物はCSIROのButt博士。

#### 不整合



### 赤色粘土

- ・細粒の赤色粘土も典型的な堆積性レゴリスである。



### RCボーリングのクッティングス

- ・写真の前列手前から右へ向かって深度が深くなっていく。RCボーリングは掘進能率がよいが、サンプルが粉末状となるのでレゴリスの分類には経験を要する。



### CSIRO建家

- ・昨年末に完成したばかりで新しく、スペースも広い。