

原著論文

南アフリカ共和国における希土類資源地化学探査としてのアリ塚調査報告

堀内 悠\*・大野 哲二\*\*・星野 美保子\*\*・申 基澈\*\*\*

村上 浩康\*\*\*\*・恒松 麻衣子\*\*・渡辺 寧\*\*\*\*\*

\* おおいた姫島ジオパーク推進協議会

\*\* 産業技術総合研究所地圏資源環境研究部門

\*\*\* 総合地球環境学研究所

\*\*\*\* 産業技術総合研究所触媒化学融合センター

\*\*\*\*\* 秋田大学国際資源学部

Termite mounds survey as a geochemical prospecting of the rare earth elements resources in the Republic of South Africa

Yu Horiuchi\*, Tetsuji Ohno\*\*, Mihoko Hoshino\*\*, Ki-Cheol Shin\*\*\*,

Hiroyasu Murakami\*\*\*\*, Maiko Tsunematsu\*\* and Yasushi Watanabe\*\*\*\*\*

\* Oita Himeshima Geopark Promotion Office

\*\* Institute for Geo-Resources and Environment, GSJ, AIST

\*\*\* Research Institute for Humanity and Nature

\*\*\*\* Interdisciplinary Research Center for Catalytic Chemistry, AIST

\*\*\*\*\* Faculty of International Resource Science, Akita University

はじめに

南アフリカ共和国は、金やダイヤモンド、白金、クロムをはじめとする鉱物資源を多く産出する地域であり(神谷, 1994), 数々の資源探査および開発が行われてきた。内陸部は乾燥した気候で、雨季と乾季を伴い、広範囲にステップやサバンナが広がる。この草原には多くのアリ塚が分布しており、北部のNylsvley自然公園ではアリ塚に居住する20種のシロアリが記載されている(Ferrar, 1982)。本研究では、南アフリカ共和国において希土類元素

(REE)の資源探査を行う過程で、調査地に多く分布するアリ塚に着目し、アリ塚試料を用いた地化学探査を試みた。鉱物資源の探査でよく行われる地化学探査は、地表の土壌・植物・水・岩石・ガス等の試料を用いた探査であり、アリ塚の多く分布する地域では、アリ塚の試料が用いられることも多い。なお、従来、アリ塚試料を用いた地化学探査は、金、亜鉛やウラン鉱床の探査で行われているが(West, 1970; Watson, 1972; Brooks, 1982; Gleeson and Poulin, 1989; Le Roux and Hambleton-Jones, 1991), 希土類元素の資源探査に適用された

例はない。なお、本研究の成果の一部は、Horiuchi et al. (2014) で報告している。

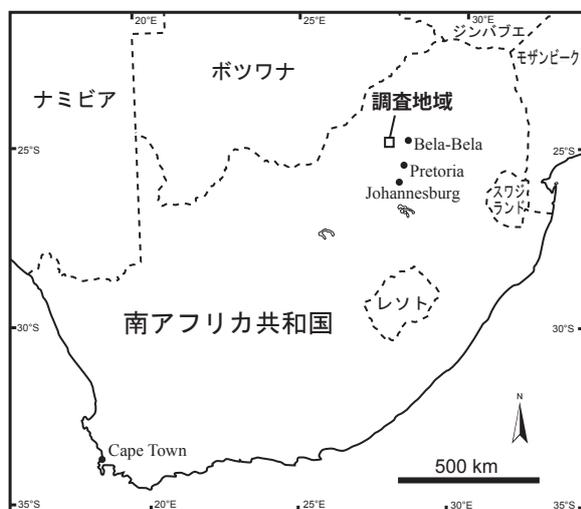


図1. 調査地の位置図。

## 調査の概要

調査を行ったBlockspruit地域は、南アフリカ共和国の北西部に位置する(図1)。調査は2012年10～11月および2013年7月に行った。調査地周辺には適当な宿泊施設がないため、調査地より約70km東方の市街地Bela-Belaに宿泊した。調査現場へは南アフリカ共和国地質調査所(CGS: Council for Geoscience, Republic of South Africa)のメンバーが同行し、基本的に2名以上で調査を行った。調査した範囲は農地および放牧地の中の約1200m×800mの区域であり、CGSの協力を得て土地の所有者に立ち入り及び調査の許可をとることでスムーズな調査研究を行うことができた。

## 調査地域の地質概要

調査を行ったBlockspruit地域は始生代時代のNebo花崗岩に貫入した角閃岩に伴って蛍石が多量に産出する蛍石鉍微地帯が分布する。鉍化帯は垂直方向に細長い脈状あるいはほぼ水平に巨大なマン

ト状を呈する。最大のマント状鉍体はYsterkop北岩体および南岩体で、それぞれ1,500m<sup>2</sup>および1,000m<sup>2</sup>の範囲に分布し、掘削により30mを超える厚さを持つことがわかっている(Martini and Hammerbeck, 1998)。

調査地はYsterkop北岩体の分布域であり、低丘陵地形をなす。Nebo花崗岩は調査範囲の一部に露出し、長石類は強い風化変質により赤色化している様子が観察される(図2 a, b)。Ysterkop北岩体は、ペグマタイト性の石英、蛍石および角閃石からなり、角閃石はその多くが赤鉄鉍化を受けて仮像として観察される。赤鉄鉍化を受けていない角閃石は、濃緑色～黒色の鉄アクチノ閃石であり、放射状の粗粒な結晶の間に、ピンク～茶色のアパタイト結晶を含む(図2 c)。このアパタイトはREE鉍物である熱水性のゼノタイムやモナザイトに置換されて生じることが多い。調査範囲内では、REE鉍化作用を受けた角閃岩は強い風化作用と平坦な地形のため、表面にはほとんど露出しない。

## アリ塚

本調査地域周辺は草地にアカシアやbush willowなどの低木が散在しており、アリ塚が広範囲に分布している。アリ塚は直径約1m以上の円錐形をなす大きなタイプと、約50cm以下の柱状をなす小さなタイプの2種類を主とし、それぞれ内部構造に違いがみられた(図3 a, b, c, d)。大きなタイプの塚は木の根元に位置することが多く、直径約1mの円錐形で強く固結した塚がほとんどであるが、固結しておらず柔らかい粒子からなりドーム状の形態を持つ高さの低い塚も観察される。内部は太いパイプ状の巣穴が樹枝状のネットワークをなす。また、一方、小さなタイプの塚は開けた場所にみられ、内部は蜂の巣状の巣穴が密なネットワークをなす。後述の通り、アリ塚は地下の花崗岩と角閃岩を起源と

する物質で構成され、黄茶色～赤茶色の粘土～極粗粒砂の集合体である（図4）。

### 調査手法および試料採取

調査したアリ塚の分布図を図5に示す。小さいタイプのアリ塚53個を含む合計200個のアリ塚を調査した。調査地域には多くのアリ塚が分布するが、一様な探査を行うため、基本的には約10m間隔を目安としてアリ塚を選んでサンプリングした。後述するように、調査は試料中のREEの濃度を頻繁に測定しながら行い、濃度が高い場所では鉱化体の地下分布域を確かめるため、必要に応じて密にサンプリングを行った。主として大きいタイプのアリ塚を調査対象としたが、それが見られない場合は小さいタイプのアリ塚も対象とした。すべてのアリ塚におい

て形状やサイズ（幅，奥行，高さ）を記録した。道がなく，地形が平坦で目標物が少ないことから，草原を適当な方向に進みながら調査を行い，アリ塚の位置はGPSによりプロットした。

サンプルの採取は，平均的なREEの濃度を得るため，1つのアリ塚の異なる箇所から行い，採取した複数（4～5個）のサンプルを混合したものをそのアリ塚の代表試料とした（図6 a）。このとき，雨水や方位による影響を避けるため，ハンマーによって表面を崩したのちに表面を避けた内側部分の採取を行っている。アリ塚が堅くサンプルが塊状になっている場合は，ハンマーを用いて鉄板上で粉砕し細かくしたものを試料とした（図6 b）。アリ塚はシロアリが営巣中のものが多く，深く崩すとシロアリが次々に出てくるため（図7），深部の構造まで確認することはできなかった。

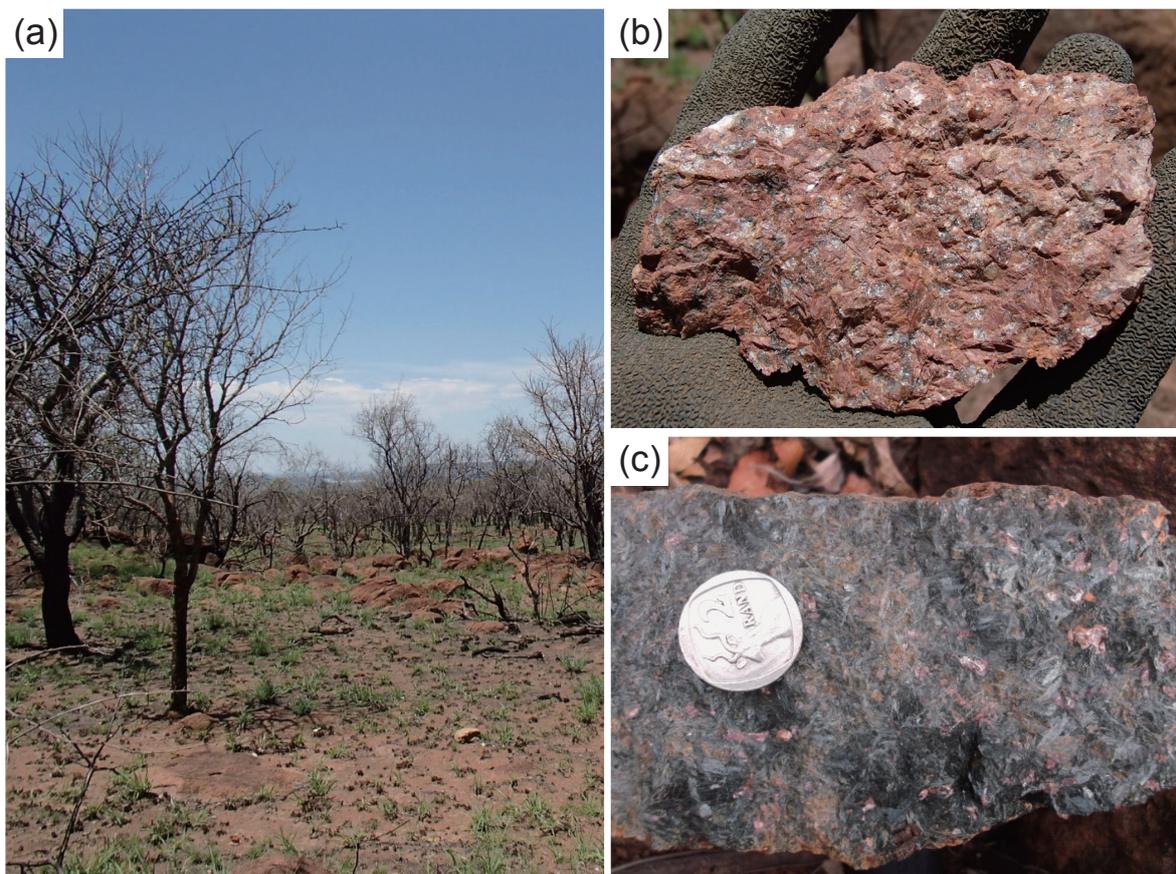


図2. Blockspruit地域。(a) 露頭の様子，(b) 風化変質作用により赤色化した花崗岩，(c) アパタイトを含むアクチノライト岩。

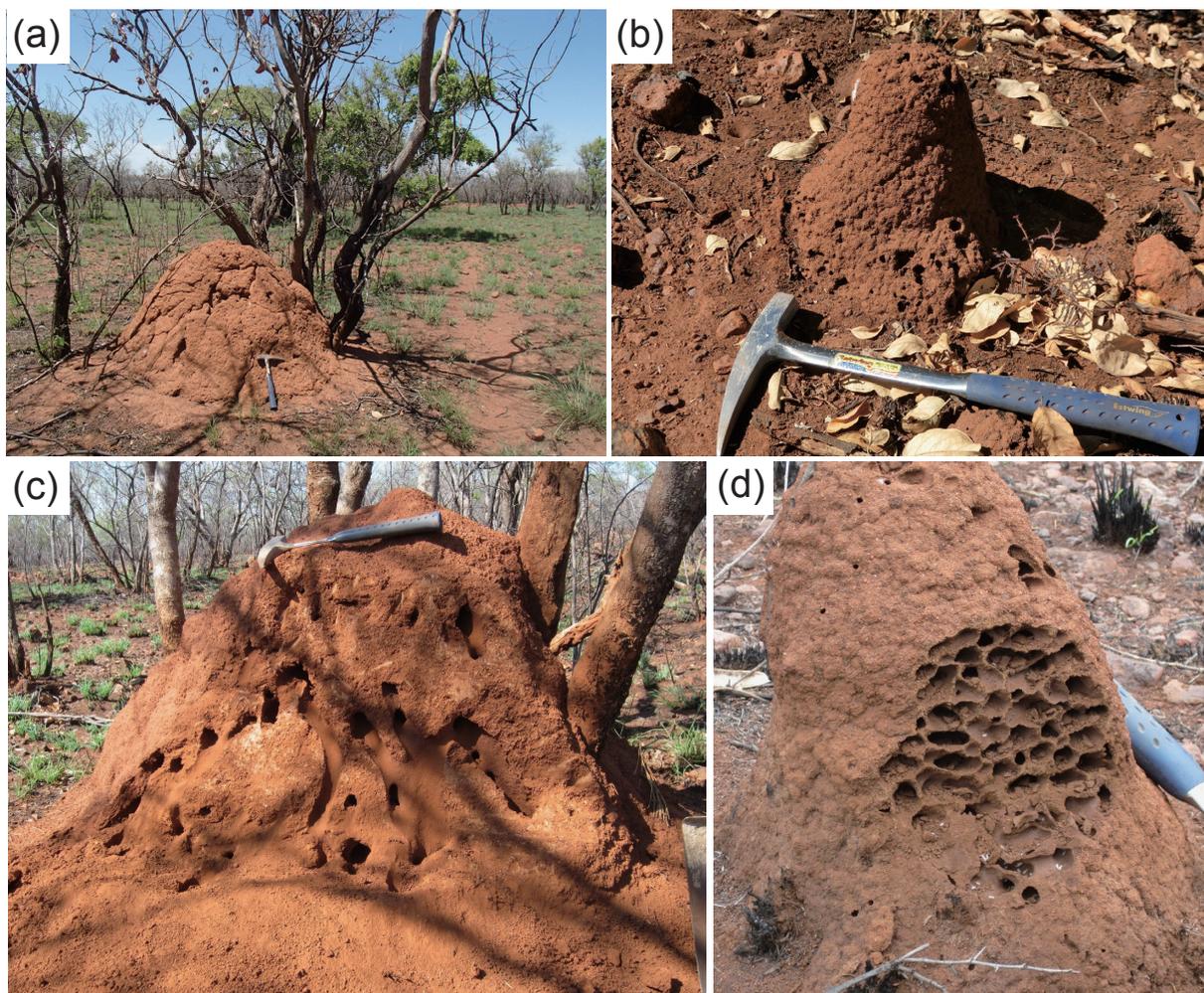


図3. 調査地に見られる (a) 大きいタイプのアリ塚, (b) 小さいタイプのアリ塚, (c) 大きいタイプの塚の断面, (d) 小さいタイプの塚の断面。

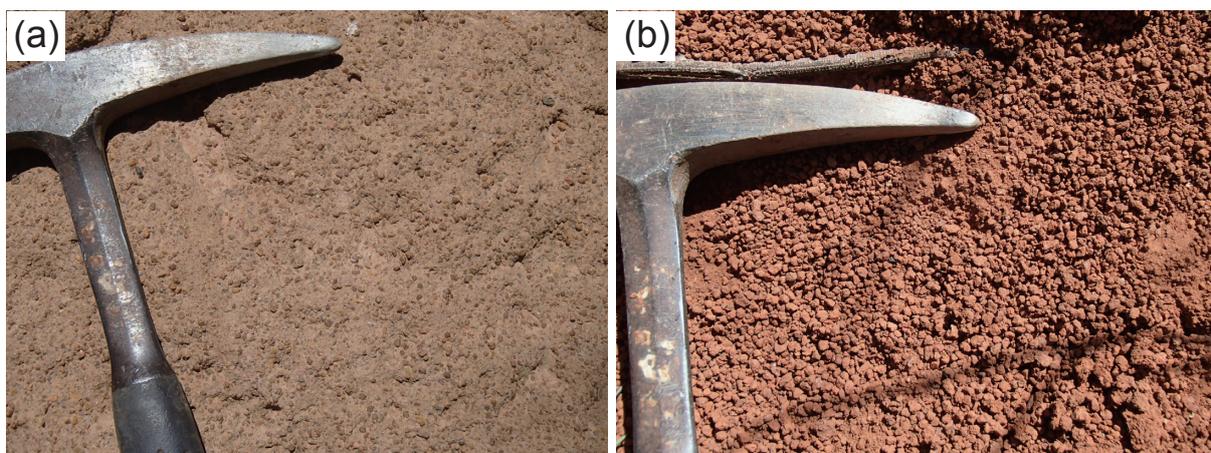


図4. 186地点 (a), 192地点 (b) のアリ塚の表面の様子。

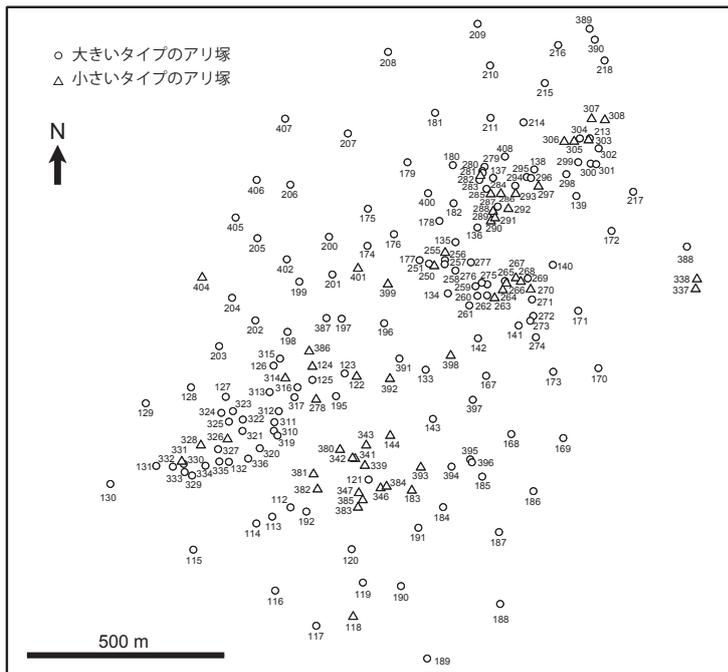


図5. 調査したアリ塚の分布。

### REE濃度測定

携帯型蛍光X線分析装置（XRF）（Niton XL 3 t-900S-M，エネルギー分散型，Thermo Scientific社製）を用いて，野外においてそれぞれ

のアリ塚から得られた代表試料の化学組成を測定した。各試料は50g程度とし，プラスチック製袋に入れた状態で袋の上から60～90秒間測定した（図8）。測定視野は直径8.0mmスポットである。分析の対象とした元素はFe, Zr, Nb等の重元素に加え，4つのREE（Y, La, Ce, Nd）である。なお，本分析機器はコンピューターに接続しデータを取り出すこともでき，現地で濃度分布図を作成することが可能である。

### 結果

本調査地で携帯型XRFにより測定された全アリ塚試料のY, La, CeおよびNd濃度は，それぞれ50～1370, 150～1130, 160～1780および310～1430ppmの範囲であった。本研究では，これらの4つのREEのうち，重希土類元素の指標となるYに注目し，調査地のY濃度の分布図をアリ塚のタイプごとに作成した（図9；Horiuchi et al.,2014）。分布は，測定データを元

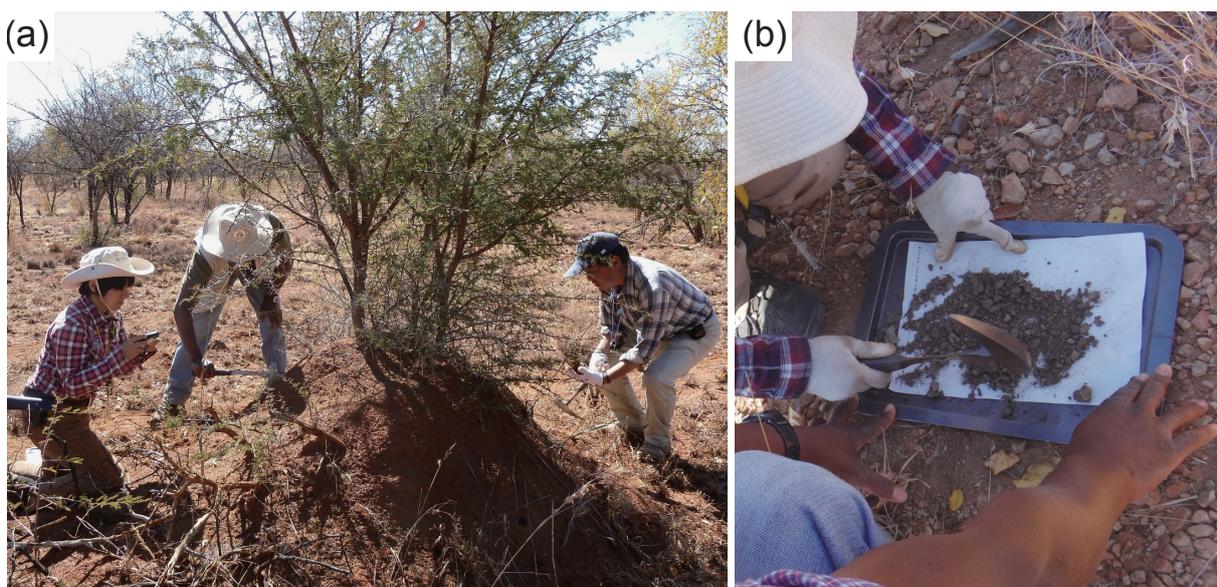


図6. サンプルの採取の様子。(a) 複数の箇所よりサンプルを採取，(b) ハンマーを用いて粉碎。

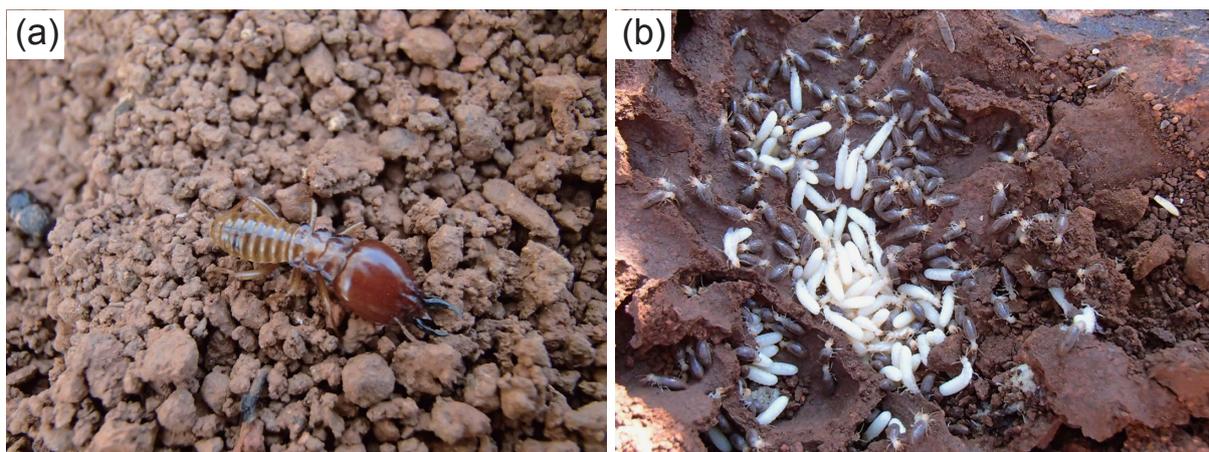


図7. 大きいタイプの塚にみられるシロアリの例 (a) と小さいタイプの塚にみられるシロアリの例 (b)。



図8. 携帯型XRFによる測定の様子。

に逆距離荷重法 (IDW法) により補完した。その際の距離係数は3である。北東-南西方向に広がるY濃度の高い範囲がみられる。

### 考察

図10に本調査地におけるアリ塚の位置と地下の岩石分布の概念図を示す。アリ塚を構成する物質は、地下数10cmから数m以上の地下から運ばれてくることから、アリ塚の構成物を分析することにより地下の状況を知ることができると考えられており、アリ塚を利用した探査手法はこれまでに金、亜鉛、ウランなどの地化学探査に用いられている (West, 1970; Watson, 1972; Brooks, 1982; Gleeson and Poulin, 1989; Le Roux and Hambleton-Jones, 1991)。West (1970) はジンバブエのミッドランズ州において、シロアリの一種である *Macrotermes natalensis* が水分を求めて深度約60~90mにある地下水面付近まで往復し、金を胚胎する地下の岩石の一部を地表に持ち帰る可能性を示した。*Macrotermes natalensis* は基部の直径が140cmほどの円錐形の塚を作る種であり、本調査地であるBlockspruit地域の北東約100kmのNylsvley自然公園からも報告されていることから (Ferrari, 1982), 本調査地にも生息している種である可能性が高い。また、本研究で調査を行った小さいタイプのアリ塚は、Ferrari (1982) の記載している *Cubitermes* などの土壌を食べるタイプ (Soil-feeding) のアリ塚に類似しており、あまり深くま

で移動しない種類であると考えられる。本調査地の場合、大きいタイプの塚を作るシロアリがどの程度の深さまで移動しているかは不明であるが、図9で示したように、アリ塚の大きさに関わらずそのY濃度分布図は同様の傾向を示すことから、いずれのアリ塚の試料も少なくとも比較的浅部の情報を反映している可能性が高い。このことは、地表付近の岩石が風化や土壌化作用による細粒化を受けているため、シロアリが塚の材料として運搬しやすいことから推察できる。すなわち、調査地においてY濃度の高い範囲が北東-南西方向の広がりを示すこと

は、少なくとも地下の比較的浅部においてREEに富む岩体が北東-南西方向に定置しているためと考えられる。なお、本調査で観察したアリ塚は、図4で示したように黄茶色~赤茶色まで様々な色彩を呈するが、Y濃度分布と合わせると、赤色が強いものは角閃岩の分布域に位置する傾向があり、角閃岩の風化物に含まれる鉄酸化物の色を反映している可能性がある。今回の調査では色の計測を行っていないが、今後、地化学探査の補助的な目的で色計測を行うことも検討していきたい。

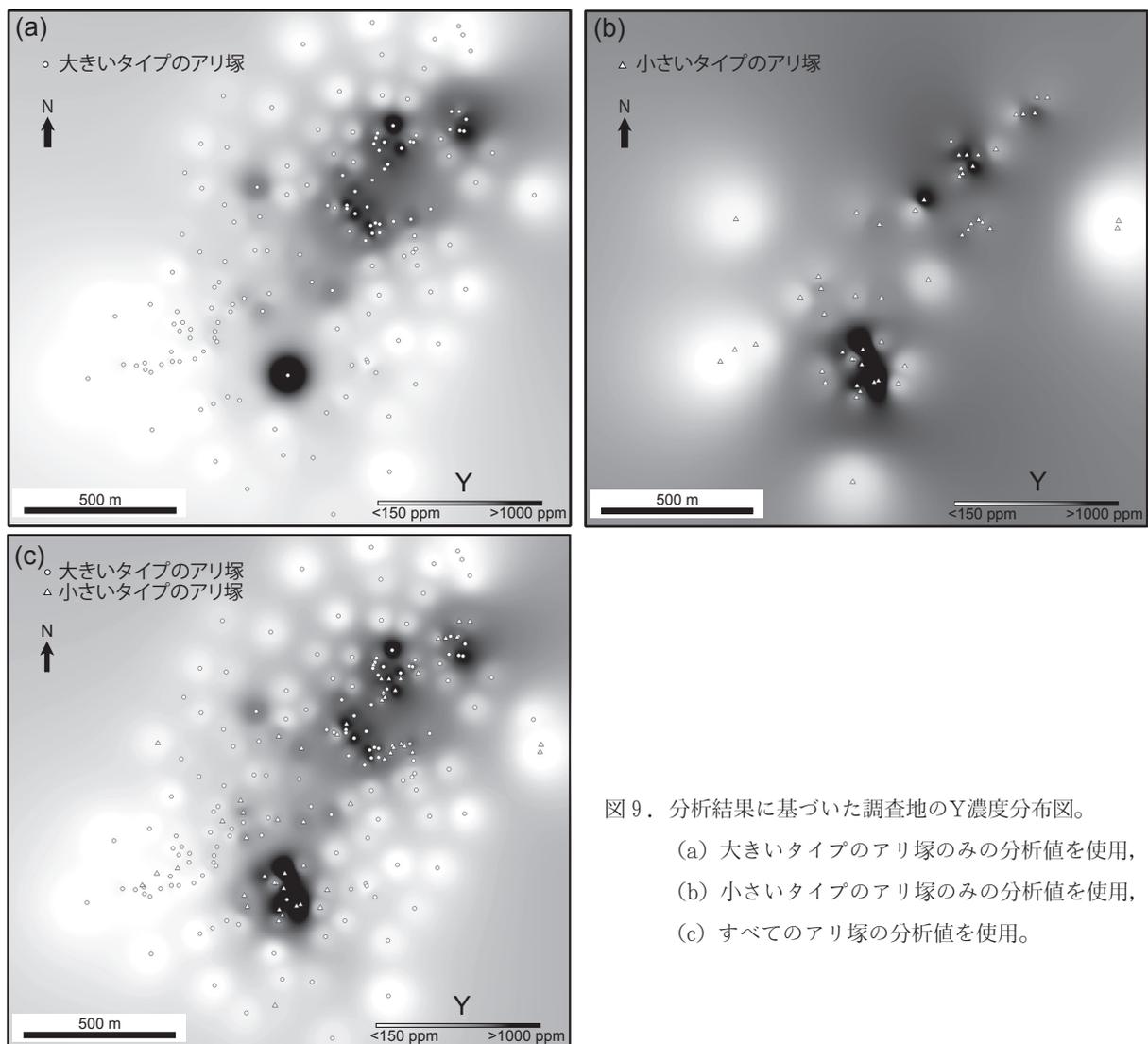


図9. 分析結果に基づいた調査地のY濃度分布図。

- (a) 大きいタイプのアリ塚のみの分析値を使用,
- (b) 小さいタイプのアリ塚のみの分析値を使用,
- (c) すべてのアリ塚の分析値を使用。

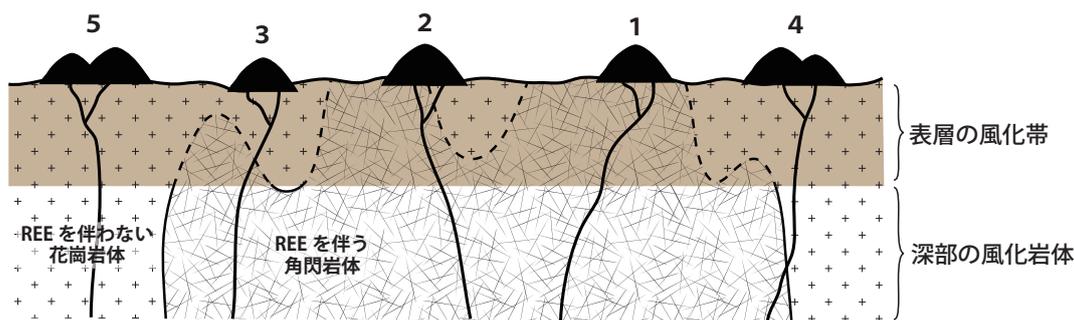


図10. アリ塚と地下のREE鉱化体の位置関係概念図。小さい番号の塚ほどREE濃度が高いことが推定される。

### 結論

本調査地のアリ塚から得られた試料のREE濃度を携帯型XRFにより測定し、Y濃度分布図を作成した。得られたY濃度分布は、アリ塚の大きさに関わらず同様の傾向を示すことから、いずれのアリ塚の試料も比較的浅部の情報を反映している可能性が高い。本調査地のY濃度の高い範囲は北東-南西方向の広がりを示していることから、地下の比較的浅部においてREEに富む岩体が同方向に定置していることが推定される。

### 謝辞

本研究では、南アフリカ共和国地質調査所(CGS)のElisa Longa Tongu博士の協力により安全な野外調査を行うことができた。また、現地でお世話になったCGSのメンバーおよび調査時にご協力いただいたたくさんの方々に深く感謝する。

### 参考文献

Brooks, R. R., 1982 : Biological methods of prospecting for gold. *J. Geochem. Explor.*, vol. 17, p. 109-122..  
 Ferrar, P., 1982 : Termites of a South African savanna I. List of species and subhabitat preferences. *Oecologia (Berl)*, vol. 52, p.

125-132.

Gleeson, C. F. and Poulin, R., 1989 : Gold exploration in Niger using soils and termitaria. *J. Geochem. Explor.*, vol. 31, p. 253-283.  
 Horiuchi, Y., Ohno, T., Hoshino, M., Shin, K., Murakami, H., Tsunematsu, M. and Watanabe, Y., 2014: Geochemical prospecting for rare earth elements using termite mound materials. *Miner. Deposita*, vol. 49, p. 1013-1023.  
 神谷雅晴, 1994 : 鉱物資源の宝庫 南アフリカ共和国. 地質ニュース, no. 479, 6-13.  
 Le Roux, J. P. and Hambleton-Jones, B. B., 1991 : The analysis of termite hills to locate uranium mineralization in the Karoo Basin of South Africa. *J. Geochem. Explor.*, vol. 41, p. 341-347.  
 Martini, J. E. J. and Hammerbeck, E. C. I., 1998 : Fluorspar. In Wilson, M. G. C. and Anhaeusser, C. R., eds., *The mineral resources of South Africa, sixth edition*. Council for Geoscience, Handbook, vol. 16, p. 269-279.  
 Watson, J. P., 1972 : The distribution of gold in termite mounds and soils at a gold anomaly in Kalahari sand. *Soil Sci.*, vol. 113, p. 317-321.  
 West, W. F., 1970 : The Bulawayo symposium papers : No. 2, termite prospecting. *Chamb. Mines. J.*, vol. 12, p. 32-35.