

地質分野2009年春の話題「ロンドンの地下地質ならびにオーストラリアの鉱物資源探査事業など」-英文ニュース誌から拾う-

高橋 裕平¹⁾

1. まえがき

地質学で今どんなことが話題となっているのか、あるいは社会が何を地質学に求めているかの情報源となるよう、諸外国の英文ニュース誌の話題を2006年春から定期的に紹介している。今回は主に2009年春(2-4月)に入手した英文ニュース誌や連絡誌の解説(論説)について紹介する。

今回紹介した文献は、全てウェブ上から得ることができるので、詳細を知りたい方のため、ウェブアドレスを記した。

2. Geology Today

(<http://www.blackwell-synergy.com/loi/gto>)

Geology Todayは、英国地質協会(The Geologists' Association)とロンドン地質学会(The Geological Society of London)の連絡誌で、地球科学のトピックス、専門雑誌のエッセンス、化石や鉱物の連載物、ニュースとコメントなどからなる。毎年第1号はサンプルでフリーに閲覧できる。2009年1号(1-2月号)の中から、ロンドンの地下鉄工事に絡めた地下地質の話題と南アメリカのクレーターとペルム紀-三畳紀の地質学的激変を関連付ける話題を紹介する。

ロンドン地下地質 (Jonathan D. Paul; Geology and the London Underground. Geology Today, vol.25, no.1, p.12-17, January-February 2009.)

序

トンネル工事などの土木事業では地質の把握は第一義的に重要な要素である。トンネルを設計するにあたり、まず、広域的な地質を調べてどこにルートをとったらよいか決定する。さらに段階が進めば、地域を

限定した詳細な地質を参照してトンネル工事の際の課題を知り、工法の選択を行い、建設に伴いどんな災害が起こるかを予測する。

ロンドンの地下は、ロンドン粘土層から主になるためトンネル掘削に適していた。このため、ロンドンでは地下鉄が早くに開通した。これと対照的にニューヨークの地下鉄は1904年になりようやく開通した。ロンドンに比べて地下鉄の工事が遅れた大きな理由は、ニューヨークの地質が硬くそして破断した変成岩からなり、掘削工事に多くの障害があったからである。

一般に地質によって工法が大いに異なるため、そのことが工事の費用に反映する。すなわち、花崗岩や変成岩のように硬くせん断した古い岩石は掘削に多額の費用がかかる。一方、若い堆積物では地盤を安定にするために費用がかかる。これらのことに関して、ロンドンを例にやや詳しくながめてみる。

ロンドントンネルと地質ならびにそれに関連した問題点

ロンドン古第三紀に形成された東西性の向斜構造の軸上にほぼ位置している。地質は第1図に要約できる。

ロンドン粘土層:ロンドン粘土層はロンドンの地下地質を論じる上で重要である。不透水性で適度な荷重がかかっているという特徴は、初期の開発には大変都合が良かった。しかしながら、時間が経つとこの初期の容易に進めたトンネル工事に負の課題が生じた。すなわち、ロンドン粘土層中のモンモリロナイトは湿度の変化に伴い粘土層中で膨張や収縮を引き起こし、その結果地表の構造が不安定となった。

ロンドン粘土層は年間5-10mm膨張し、地下鉄工事後100年以上経ちメートルオーダーで地表が上昇した。将来のロンドンの輸送(交通)システムを考えるのに重要である。

1) 産総研 地質調査情報センター

キーワード: インバクト, ペルム紀, 三畳紀, 地下鉄, ロンドン, シームレス地質図, 鉱物資源, 南極

地質時代	地層	備考
	盛土, 埋立	
後更新世 (完新世)	Thames沖積層	砂及びシルト, 水を伴う
更新世と完新世 (160ka-12ka)	SHEPPERTON層, KEMPTON PARK礫層 河岸段丘堆積物	砂及び礫 (宙水を胚胎)
始新世 (51.5Ma-49.5Ma)	(不整合) BAGSHOT層	細粒砂, 地形的高まりにのみ分布
始新世 (58Ma-51.5Ma)	THAMES層群 LONDON粘土層	均質な硬いシルト質海成粘土 (生物かく乱層の発達, 砂・シルトレンズを含む, などからさらに細分)
	HARWICH層	細粒砂, 生物かく乱がよく認められる
暁新世 (60Ma-58Ma)	LAMBETH層群 (不整合) READING層/WOOLWICH層	砂及び粘土
	UPNOR層	礫層, 海緑石中粒砂, フリント層 (基底)
	(不整合) THANET砂層	細粒砂, 基底にフリント
後期白亜紀 (65Ma以前)	(不整合) チョーク	不整合下に溶脱パイプなどが発達

第1図 ロンドンの地質層序. Paul (2009) のFig.1に基づく.

ロンドン粘土層はその層厚が変化する. Hampstead Heathでは, Bagshot層の下位に135mの厚さがあるが, West India Dockでは0mである. つまり, 地下工事で場所によってはロンドン粘土に出会わないこともある.

ロンドン粘土層それ自体は詳しくみると必ずしも均質ではなく, そのためにトンネル工事災害となったことがある. 粘土中の天然の割れ目(パイプ)が, 粘土層の最上部に発達し, 水の浸入を許し, 掘削工事の障害となる. また, 粘土が削られてできた凹みに水和性の堆積物がたまっていることがあるが, 必ずしも事前にその場所が特定できず, 工事の障害となったことがあった.

ランベス (Lambeth) 層群: ランベス層群は固結度があまりよくない砂層で, 一世紀半にわたり土木技術者の間では工法上問題となっていた. ロンドンの地下鉄でトンネル工事が止まっているところがあるが, そこではランベス層群が露出するか地表まで延長している. 地層は透水性がしばしば大きい, その変化は予想したい.

ランベス層群は多量の黄鉄鉱を含むため, ランベス層群の地層を通るトンネルで使われている鉄鋼やコンクリート構造物は腐食する. 例えば, オールドストリートの南のノーザン線では砂層中の黄鉄鉱は酸化

している. ロンドン粘土から浸み出した水が酸性地下水となり, pHが3程度となっている. トンネル建設中の洪水も問題となる. 水を含んだ砂層は地下水を放出し, しばしばロンドン粘土層を軟化させることとなる.

地下水: 19世紀に地下工事が始まると地下水レベルが下がり, ロンドン粘土を強くすることとなり, 結果として地表と地下トンネルを安定にした. その後, 地下水利用に関して1960年代の立法で規制がかかり, 地下水レベルがゆっくり回復して最近では年1mmの速度で上昇している. 地下の川や下水の危険性は, 現在では予備調査でその存在を予想できるようになったが, 1860年から1939年の地下鉄工事ではまだ予測が十分でなかった. 例えば, 1862年4月2日, 地下鉄工事で地盤が弱い沖積層に出会い工事が大幅に遅れた.

第四紀河川礫と沖積: 現世堆積物は一般には工事ルートからは外されている. 地下水位はウェストミンスターとグリーンパーク駅の間で地下3mである.

予備調査の重要性

多くの問題は, 地質の調査が十分行われ, 問題の箇所があらかじめ予測されれば解決できる. しかし, 掘削が完了して初めて地下の正確な状況がわかるのも事実である. そこで予期せぬ事象に出くわした際の

迅速な対処法を事前に整理しておく必要がある。

河川を通過する際、排水が必要となる。そのため、あらかじめロンドンの地下では大規模な水路の移動も行われたことがある。地下鉄工事開始から144年経ち技術が発展してきたのも事実である。例えば、洪水堆積物の礫層を掘削するのにJubilee線ではベントナイトシールド工法が採用された。未固結堆積物を固結する工法も検討されている。液体窒素で一時的に凍結して工事を行うことがオックスフォード環状線の工事で採用された。永久固結のため、シリケートゲルと粘性モルタルの注入も行われている。

他の都市との比較

ロンドンには、上記のように細かくみるとさまざまな問題があるが、それでも他の都市と比べると地下にトンネルを作るのに理想的な地質である。ニューヨークでは地下の主要な岩石はマンハッタン片岩で、堅硬だが破断しやすい。さらに二次的な破碎帯があり、そこはしばしば粘土化している。このため、岩石の強度がさまざまでも工事中に強度の変化を予測しがたい。ベルリンではこの逆で非固結の軟弱堆積物の砂からなり、しかも地下2-3mにしばしば水を多量に含むため、工事を困難にしてきた。実際、U-Bahnにおけるトンネル工事は1890年代まで行われなかった。

結論

以上のように地質はトンネル工事に密接に関わっている。地質を理解していれば、トンネルをどこに掘るか、深さはどこがよいかを知ることができる。またローカルな地質がわかれば、どのような工法で工事を進めたらよいかをあらかじめ決定できる。また、いつ掘るかも重要で、技術の進歩を待って工事を行うこともある。

アラグワイナインパクト：南アメリカのペルム紀-三畳紀事変 (Cristiano Lana and Yara Marangoni; The Araguinha impact: a South American Permian-Triassic catastrophic event. *Geology Today*, vol.25, no.1, p.21-28, January-February 2009.)

序

惑星の表面は、小惑星や彗星の衝突で破壊され構造が改変される。実験や数式モデルによると、衝突体の径が5kmを越えると 10^{23} - 10^{24} ジュールのエネルギーを放出し、それは広島型原爆の数百万倍に相当する。10-20km/sで突入する彗星や小惑星は、その

径の10-30倍の大きさのクレーターを形成する。月のBorealisのような大きなインパクトクレーターともなると、深くかつ構造も複雑になりクレーターというよりも盆地といえる。

大きなクレーターの内部構造は最近のクレーター研究の研究課題となっている。例えば、最近の地上のインパクトクレーター構造の研究から、同じ大きさのクレーターでも、岩石組成、衝突前の構造、地温勾配、衝突の角度で内部構造に差異が生じることがわかってきた。

アポロ月面着陸計画の準備段階として、地球上のインパクトクレーターやインパクトに伴い形成した物質の研究が1960年代に始まった。なかでもドイツのRiesインパクトクレーターでは、盛んに月面を模した研究が行われた。カナダの複合クレーターでもアポロ計画を意識した研究が行われた。

アラグワイナクレーター

規模が大きな複合クレーターの内部構造に関しては、北極地域のHaughtonクレーターと南アメリカのアラグワイナ(Araguinha)クレーターで研究が行われている。アラグワイナクレーターはHaughtonクレーターよりも大きい。オーストラリア、英国、南アフリカ、ブラジルの研究者によって盛んに調査されている。アラグワイナクレーターの名前は、近くを流れるアラグワイナ川に因むもので、クレーター研究の草分けのRobert DietzとBevan Frenchにより命名された。

アラグワイナクレーターは、隕石落下により引き起こされる環境激変の研究で注目されている。その理由は、このクレーターから得られた衝突の時期を示す放射年代がペルム紀と三畳紀の生物絶滅の時期と一致するからである。

アラグワイナクレーターの地質

同クレーターは、径が40kmあり、南アメリカ最大のインパクトクレーターである。現在の侵食レベルで、堆積物はインパクト構造の中央に向かい変形が強くなりかつ古くなる。形態は、月面のクレーターのAntoniadiクレーター(径135km)やComptonクレーター(径165km)に酷似する。

アラグワイナクレーターの堆積物は、Passa Dois層群、Aquidaua層、Parana層群に分けられる。Parana層群はさらにFurnas層とPonta Grossa層に細分されている。

中央丘の核はアルカリ花崗岩である。リングの嶺は

砂岩 (Furnas層) からなる。これらの花崗岩と砂岩の境界は、隕石落下前には地表下約2kmにあったが、隕石が地表に落下して数秒から数分の間に一気に3-4kmせり上がったと推定されている。強いひずみを受けておりガラス脈がネットワーク状に発達している。

環状の盆地は、Ponta Gross層のシルト岩と Aquidauna層下部の堆積物からなり、両者は断層で接し、また全体に褶曲が発達している。Ponta Gross層のシルト岩は鉄に富み、細粒の砂岩や薄いレンズ状の礫岩を挟む。Aquidauna層は塊状でクロスラミナが発達した赤色砂岩からなる。両者はクレーター中央部のアルカリ花崗岩の上昇に伴い著しく傾斜した。クレーターの縁は、キロメートルスケールの断層でブロック化している。ブロックは、Aquidauna層上部と Passa Doi層群の堆積物からなる。そのほか、中～大規模なインパクト構造も認められる。

古環境・古地理面からの意義

顕生代の5億5,000万年間でもっとも大きな生物の絶滅事件は、ペルム紀から三畳紀に移り変わる2億5,100万年前である。その頃は、地球上の大陸は一つにまとまってパンゲア超大陸を形成していた。気候は現在よりも温暖で、今日の生物の祖先を含め多くの動植物が栄えていた。ブラジルの南部は当時浅い海となっていて、それはアルゼンチン、ウルグアイ、南部アフリカまで広がっていた。この海は、南アメリカではパラナ (Parana) 盆地、南部アフリカではカルー (Karoo) 盆地として現在知られているものである。

ペルム紀-三畳紀の激変では海生生物の90%が消滅した。アラグワイナインパクトはこのグローバルなカタストロフィックな事象の全てを説明するに至らないかもしれないが、それでもTNT火薬で10⁶メガトンのエネルギーの事象であった。

アラグワイナインパクトを単純に計算すると、インパクトで放出された物質はインパクトの場所から3,000kmにわたり、事実南アフリカのカルー盆地でそれを見出すことができる。堆積物のあるものでは、インパクトによって硫酸塩や炭酸塩鉱物の分解が起こり大量のガスが発生し、それが大気中に放出された。硫酸化物と大気中の水分が反応してできた硫化エアゾルは殺傷能力があり、南アメリカ大陸の多くの場所に影響があった。大気の透過性にも影響を与え、パラナ盆地やカルー盆地の気候を大きく変えたであろうと考えられている。

3. AusGeo News

(<http://www.ga.gov.au/ausgeonews/download.jsp>)

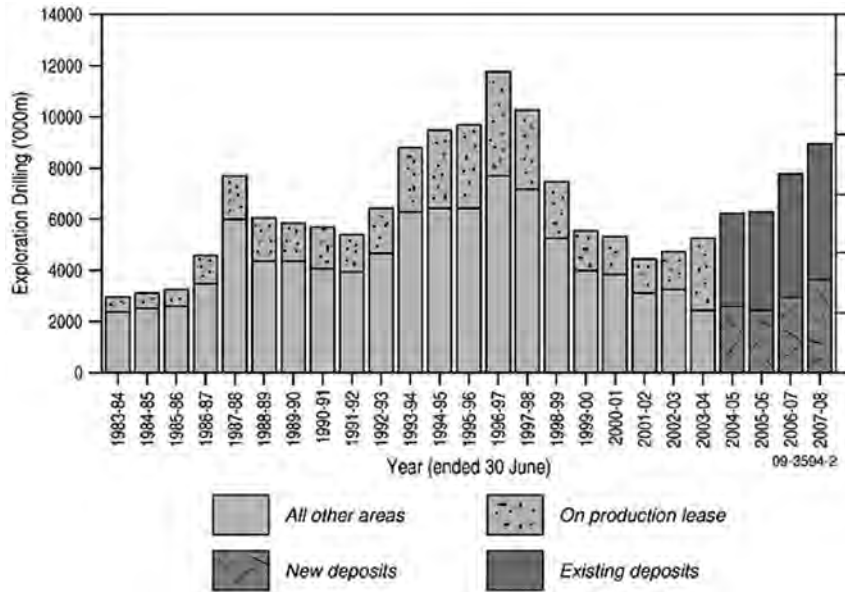
同誌はジオサイエンスオーストラリアのニュース誌で、年4回発行される。内容はもっぱらジオサイエンスオーストラリアの活動や成果物紹介である。今回はオーストラリアのシームレス地質図最新版ならびに鉱物資源探査状況を紹介する。

オーストラリアの新しいデジタル地質図 (Ollie Raymond; New digital geological map of Australia, Seamless national baseline dataset released. AUS-GEO News, issue 93, Mar 2009.)

オーストラリア全土にわたる100万分の1スケールの新しいシームレスデジタル地質図が、2008年12月16日に公開された。この地質図の編集は2001年に始まり、それ以来、地質専門家、GIS技術者、層序インデックス担当総勢20人を超える人々が協力した。新たなデータは1998年にジオサイエンスオーストラリアにより出版された250万分の1縮尺のデジタル地質図を置き換えるものである。新たな地質図ではポリゴンが8,000から247,000に、地質ユニットは200から5,900に増えている。このプロジェクトでは、最新の地質情報を有するオーストラリア各州ならびに北部地区 (Northern Territory) の地質調査所と密接な連携をとって行われた。

編集にあたり、当初計画では既存の50万分の1ならびに200万分の1地質図を利用する予定であったが、それらは1970年代から1980年代にかけたもので少々古いため編集作業に不都合があることがわかった。そこで最近の25万分の1地質図を基本に編集することとなった。25万分の1地質図が欠ける地域については、10万分の1あるいは5万分の1縮尺の地質データを利用した。このように高精度 (大縮尺) の地質図データを使うが、編集では100万分の1縮尺に単純化し、それは200mから1kmの精度になる。

編纂チームは40年間にわたって整備された400を越える地質図の地質情報について層序の改訂や境界線の調整などに多くの時間を割いた。編纂の過程で矛盾があるところやデータが不十分なところには衛星画像やガンマ線強度あるいは帯磁率などの地球物理データを利用した。



第3図 オーストラリアの鉱物資源探査試すい総延長(千m). Lynton and Huleatt (2009) のFig.2. 2003年にABSの試すい区分の定義が変わったため、2004-2005年以降とそれ以前で異なる名称となっている。棒グラフの上は、以前は稼行鉱床(On production lease)、最近は既存鉱床(Existing deposits)、棒グラフの下は、以前は稼行鉱床以外の地域(All other areas)、最近は新規鉱床(New deposits)である。それぞれ概ね同義である。なお、原図はカラー表示であるが、白黒でも識別できるように、模様を加筆した。ジオサイエンスオーストラリアから転載許可済み。

の急激な探査額上昇のため、相対的な比率は下がっている。探査額総額の24%を占め、592.7百万豪ドルである。

試すい総延長(第3図)は、2001年から毎年増加していて、2007-2008年で9,756千メートルと前年度(2006-2007年)より1,301千メートル(15%)の伸びであった。1996-1997年に試すいのピークがあるが、当時は浅い部分の金鉱床を対象とする探査が多かった。

世界の動向も概ね同様の傾向である。2,085社のデータに基づくカナダ金属経済グループ(MEG; Metals Economics Group of Canada)の最新の統計によると、世界の非鉄金属鉱物探査額は、2008年には132億USドルで2007年に比べ26%の増加でウランを含めると144億USドルとなる。しかし、2008年終わりに世界的な金融危機があり、最終的な支出額は減ったものと思われる。

MEGの統計によれば、ベースメタル探査額は非鉄金属の41%を占め、そして2008年には金の探査額

(41%)を上回った。これはMEGが調査を開始して初めてのことである。銅が再び重要な鉱産物となり、2008年にベースメタルの57%を占めている。世界のウラン探査額は2008年に12億USドルで、それは鉱物資源探査額の8%を占め、2007年から23%の増加で、カナダとオーストラリアがそれぞれ38%と23%を占めている。

オーストラリアの非鉄金属鉱物資源探査の世界に占める割合は、2007年の11.9%から2008年は13.6%と増加した。ウランまで含めるとオーストラリアは14.4%(2,080.9百万USドル)である。探査予算はカナダに次ぎ世界で2番目である。

このような最近の世界的な鉱物資源探査ブームは、中国の需要増によるところが大きい。2008年の鉱物資源探査への投資は高価格の先物買いを反映していて、多分ピークに達していると思われる。最近の世界的な財政危機により鉱産物価格の急激な下落が2009年早々に予想される。その影響は既に現れ、鉱産物の需要減により多くの鉱山において産出高が減少し、

閉山が相次ぎ、また新規プロジェクトが停滞している。オーストラリアでは2008年に20を超える鉱山が閉山した。

しかしながら、鉱産物の経済状況は楽観的である。ABARE (Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics)によると2009年の下半期には世界の経済が上向き、エネルギーと鉱産物需要が持ち直すと予想される。

また、新たな鉱山開発に時間がかかることから、長期的な視野に立ち、鉱物資源を考えなくてはならない。現在オーストラリアで盛んに産出している鉱産物は、20年以上前に見つかった鉱床からもたらされている。したがって、新たな鉱床発見に努め将来の鉱産物需要に備えておく必要がある。

4. USGS Newsroom

(<http://www.usgs.gov/newsroom/>)

米国地質調査所 (USGS) のウェブニュースである。USGSの成果が速報性をもって紹介されている。ニュースはあまり深く内容に立ち入っていないが、関連する資料にリンクを張りさらに詳しく深めることができるようになっている。

USGSの2009年鉱物資源研究助成 (Jeff Doebrich and Jessica Robertson; USGS Announces 2009 Mineral Research Grants. USGS Newsroom, 4/8/2009.)

米国地質調査所 (USGS) による助成で国家安全保障上不可欠な鉱物資源に関する研究が行われている。2009年にはウラン、希土類元素鉱物、銅、タングステン、リチウムの研究が行われる予定である。以下に採択された研究の概略を記す。

米国のウラン鉱床

バージニア技術大学のRobert Bodnarは、バージニア南西部のColes Hillウラン鉱床がどのように形成されたかを研究する。この鉱床は米国において未開発鉱床のうちでもっとも大きなものである。この研究では鉱床の地質学的な特徴や鉱床形成時期が明らかとなることが期待され、その結果得られるモデルで米国東部の同種の鉱床の評価にも寄与する。

ウラン及び希土類元素鉱床の成因

ノバスコチアの聖マリー大学のJaroslav Dostalは、

アラスカ南東部のプリンスウエールズ島のBokan山花崗岩体のウランならびに希土類元素鉱床を研究する。この研究では鉱床の形成過程や鉱床を伴う花崗岩体の特徴を規制する地質プロセスを明らかにする。この研究から、アラスカや北アメリカの西部の同種の鉱床の評価を進めることになる。

世界最大の銅鉱床

西オーストラリア大学のCraig Hartは、アラスカ南西部のPebble銅鉱床に関連する火成岩や周辺の地質を研究する。Pebble鉱床は、世界で最大クラスの鉱床である。この研究で鉱床の形成過程が明らかとなり、さらに若い堆積物で覆われているアラスカ地域の同種の鉱床の調査に貢献する。

タングステンやリチウムの環境への影響

カリフォルニア大学のMichael McKibbenは、鉱石が水に溶けるとタングステンやリチウムがまわりにどのように放出されるかを研究する。多くの有害な元素に関するこの種の情報に関する文献はほとんどないため地球環境への予報が困難となっている。この研究はタングステンやリチウム鉱床の地球環境評価のモデル構築に必要なデータを与えることとなる。

南極氷床が急速に消滅 (Joan Moody, Jessica Robertson and Richard Williams, Jr.; New USGS Study Documents Rapid Disappearance of Antarctica's Ice Shelves. USGS Newsroom, 4/3/2009.)

米国地質調査所 (USGS) は、英国南極調査局の協力を得て、南極の氷河が急速に融けていることを報告した。Salazarはこの報告の中で、「南極の海岸と氷河の変化について初めて明らかにした。そして氷河の急速な後退は、かつて知られていた後退事例よりはるかに急速で、それは気候変動の結果である。」と記している。USGSは南極に焦点をあてているが、一方、北極でも同様に氷が予想以上に融けているという報告が国立海洋大気監督局から出されている。

以前からWordie棚氷が後退していることが知られていたが、今回、その棚氷が完全に消失していることが初めて報告された。さらに、Larsen棚氷の北側がもはや存在しない。State of Rhode島の3倍(8,500km²以上)の面積が1986年以来Larsen棚氷から崩壊してしまった。浮遊する氷床は気候変動に敏感であり、そこでこの急速な後退は、温暖化が進めば南極大陸の大陸氷河の消失を予測させる。さらに進むと海面上

昇が起き、海岸沿いの街や島には脅威である。USGSの氷河研究者、Jane G. Ferrignoによると、南極は地球上の氷床体積の91%を保持するため、そこでの氷床の変化は社会に重大な影響を与える。

Larsen 棚氷の新しい報告と地図が南極縁辺の海岸変化や氷河の特徴を明らかにするプロジェクトの成果として出版された。これらの南極における研究はUSGSと英国南極調査局の連携によるもので、加えてスコット極地研究所やドイツの研究所 (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie) の協力も得ている。

参考ウェブサイト

報告“Coastal-Change and Glaciological Map of the Larsen Ice Shelf Area, Antarctica: 1940-2005”は次のサイトから入手できる。

<http://pubs.usgs.gov/imap/2600/B/>

5. あとがき

Paul (2009) が指摘したロンドンの地下鉄工事において過去に問題となった地質学的課題は、現在にも通じる。例えば、ランベス層群では黄鉄鉱の存在のため酸性水が生じるが、同様のことが仙台市の地下鉄工事でも起きた。現在仙台市の地下鉄東西線の建設が進められているが、区間の8割が鮮新世の竜の口層を通る。この竜の口層の岩石試料の溶出試験で砒素が検出される場合とカドミウムが検出される場合がある。これは、門間ほか(2008)によると、未酸化の状態では主として砒素を溶出し溶出液はアルカリ性であり、酸化が進行するとカドミウムを溶出し、溶出液は酸性となる。酸性が進むのは竜の口層に含まれる微細な黄鉄鉱の酸化溶解により硫酸酸性水が発生す

ることによる。このように工事に伴い重金属リスクを有するわけだが、建設発生土について環境影響防止を図った施行が進められている。

Jaques and Huleatt (2009) は2008年の鉱物資源探査事業の解説を行ったが、1年前においても同じ著者により同様の解析が行われていて、それを高橋(2008)が紹介した。1年前の見通しでは、2008年も引き続き探査事業は伸びるであろうと予想されていた。実際Jaques and Huleatt (2009) では前年度より伸びているが、図とは別に本文では最終的な支出は控えめになると記している。これは1年前に予想していなかった世界的な金融危機が起こったからである。このように鉱物資源への投資は短期的にはリスクはあるが、Jaques and Huleatt (2009) はむすびに長期的には新たな鉱床を発見し、将来の需要に備える必要性を指摘している。

謝辞：ジオサイエンスオーストラリアからは図の転載を許可していただいた。ここに感謝します。

文 献

門間聖子・森 研一郎・堀 修・野溝昌宏(2008)：仙台市内に分布する竜の口層の岩石の重金属溶出特性について。東北土壤汚染研究会・産技連土壤汚染研究会合同研究会要旨集，p.58-59。

高橋裕平(2008)：地質分野2007年冬の話、地質災害軽減など-英文ニュース誌から拾う-。地質ニュース，no.646，p.60-67。

TAKAHASHI Yuhei (2009) : Some topics in English geological newsmagazines in spring, 2009, with special reference to London underground and Australian mineral exploration.

<受付：2009年5月25日>