地質ニュース573号，27－34頁，2002年5月
Chishitsu News no.573, p.27－34, May, 2002

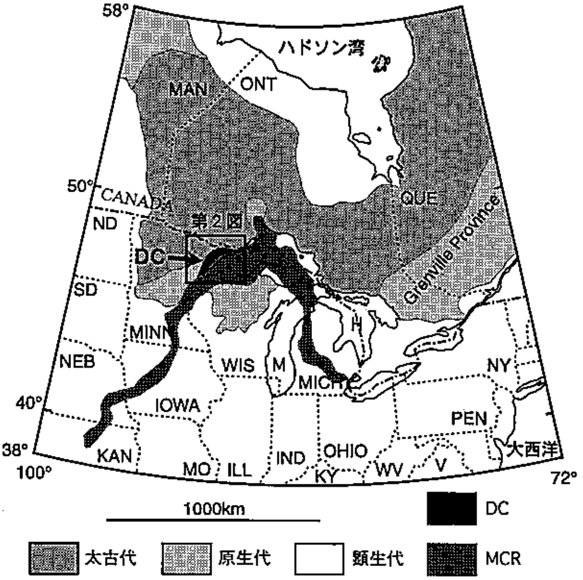
ミネソタ州ダルース複合斑レイ岩体と標準ジルコン

小笠原正継[1]・白石　和行[2]・M. Fanning[3]・三澤　啓司[2]・山口　亮[2]

1. はじめに

イオンマイクロプローブ（または二次イオン質量分析装置：SIMS）によるジルコンのU-Pb年代測定には標準ジルコンが必要となり，現在この手法で分析を行っている研究機関では標準ジルコンの調達が大きな課題となっている．標準ジルコンは分析試料と共に同一のエポキシ樹脂マウントに埋め込まれる必要がある．したがって，SIMS用標準ジルコンは分析ごとに消耗する．標準試料として用いられるジルコンは，大型の単結晶を砕いた細粒の破片を用いる場合が多いが，標準試料として適当な大型で均質なジルコン単結晶の入手はなかなか難しい．そこで，最近は多粒子標準ジルコンが用いられることが多くなってきている．多粒子標準ジルコンとは火成岩中に含まれる多数の微小なジルコンを分離し用いる方法で，採取した岩石中のジルコンがすべて同一の年代をもつ，すなわち同じU/Pb比をもつと仮定し，そのU/Pb比を標準値として用いるものである．花崗岩など地殻物質を起源とした酸性マグマにより形成された岩石には，マグマ形成時に融け残った古い年代をもつジルコンが含まれることがあるので，その中のジルコンは多粒子標準ジルコンとして適当ではない．このため，マントル起源の初生的マグマが固結した塩基性深成岩である斑レイ岩中のジルコンが標準試料として用いられる．ただし，斑レイ岩中にジルコンが含まれることはまれであり，ジルコンを含む斑レイ岩を見つけることが必要となる．

アメリカ合衆国ミネソタ州ダルース複合斑レイ岩体（第1図）のアノーソサイト質斑レイ岩にはジルコンが含まれることが知られており，そのジルコンは，カリフォルニア大学ロスアンゼルス校，スタンフォード大学，オーストラリア国立大学などでU-Pb年代測定標準試料としてすでに用いられている．今回，国立極地研究所がオーストラリア国立大学とダルース複合斑レイ岩体での標準ジルコンのサンプリングを計画，産業技術総合研究所地質調査総合センターも参加し，2001年10月に現地でのサンプリングを実施した．またダルースを中心とするスペリオル湖西部の周辺にはスペリオル型として有名な先カンブリア代の大規模鉄鉱床をはじめ，先カンブリア代の様々な岩石が分布しており，その地域での地質巡検も行った．そこで，ダルース複合斑レイ岩体と周辺の地質を紹介し，また今回のサンプリング調査の概要をまとめた．



第1図　北アメリカ五大湖を中心とした地域の地質構造概略図．DC：ダルース岩体，MCR：Midcontinent Rift System．Van Schmus and Hinze (1985) 原図．

1）産総研 地球科学情報研究部門
2）国立極地研究所
3）オーストラリア国立大学

キーワード：ジルコン標準試料，SIMS，ダルース岩体，U-Pb年代

第1表　主要な層状塩基性岩体.

岩体名	地域	規模 (km²)	形成場等	年代 (Ma)	随伴鉱床
Bushveld	南アフリカ	66,000	クラトン・大規模岩体	2,060	PGE, Ni, Cr, V
Dufek	南極	50,000	クラトン・洪水玄武岩	170	Ni, PGE ?
Duluth	米国	4,700	クラトン・大規模岩体	1,100	PGE, Ni, Cu
Stillwater	米国	4,400*1	クラトン・大規模岩体	2,700	PGE, Ni, Cr
Muskox	カナダ	3,500	クラトン・大規模岩体	1,200	PGE, Ni, Cu
Great Dyke	ジンバブエ	3,300	クラトン・大規模岩体	2,460	Cr
Windimurra	オーストラリア	2,300	クラトン・大規模岩体	2,800	PGE, Ni, Cu
Sudbury	カナダ	1,300	隕石衝突起源	1,850	Ni, Co, PGE
Bjerkreim-Sokndal	ノルウェー	230	クラトン	920	
Fongen-Hyllingen	ノルウェー	160	造山帯	426	
Skaergaard	グリーンランド	100	クラトン・初期リフト	55	PGE, Au
Chilas	パキスタン	8,000	島弧下部地殻	82	
Samail	オマーン	8,500*2	オフィオライト	95	

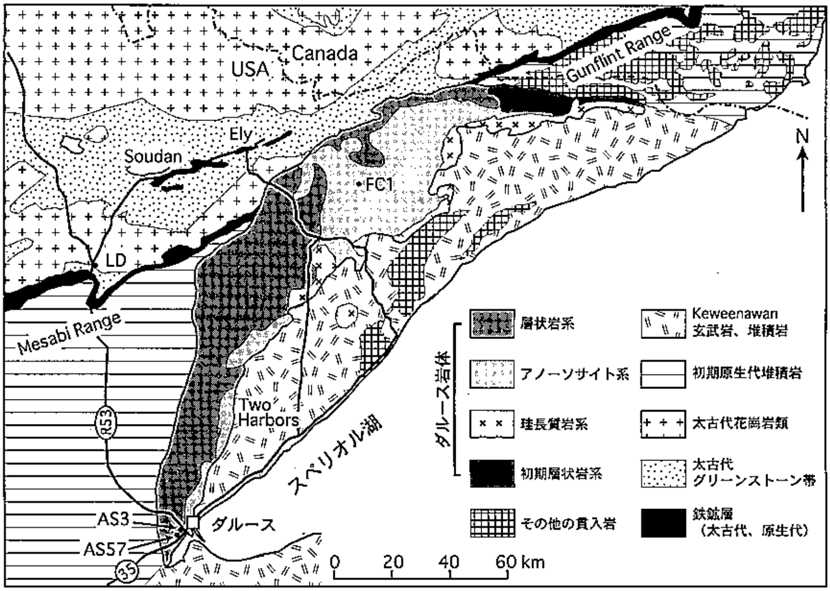
Hess (1989) をもとに作成，小規模岩体については代表的なもののみ示す．
Chilas と Samail は比較のため追加．
*1: Stillwater岩体については地下に推定されている部分を含む．
*2: Samail；オフィオライト中の斑レイ岩推定露出面積．

2. ダルース複合斑レイ岩体の地質

ダルース複合斑レイ岩体は，ミネソタ州北東部スペリオル湖の北西に露出しており（第2図），長さ250km，幅最大50kmの巨大な岩体である．その露出面積は4,700km²で，地表に露出している層状塩基性岩体としては世界第3位の大きさである（第1表）．

ダルース岩体は，北アメリカ大陸中央部の顕著な重力異常（Midcontinental Gravity High）等により示される中期原生代のMidcontinent Rift System (Van Schmus and Hinze, 1985) に位置している（第1図）．Midcontinent Rift Systemは長さ2,500km以上のリフト系で，カンサス州からスペリオル湖まで南西−北東方向に伸び，そこから南東へと方向を変え，さらにミシガン州へと続く．またさらに南下しオハイオ，ケンタッキー，テネシー州へ延長するとの考えもある．スペリオル湖の北のNipigon湖周辺には玄武岩質の岩床が広く分布しており，リフトが北へ延びていたことが推定されている．すなわち，リフト系はスペリオル湖でトリプルジャンクションを形成していたと考えられている．スペリオル湖周辺では，Midcontinent Rift Systemを構成するKeweenawan洪水玄武岩（台地玄武岩），ダルース岩体などの深成岩体，および陸成層が露出しているが，その他の地域では顕生代の堆積岩に覆われており，リフト系は地球物理学的情報から認められるのみである．

ダルース岩体は北側に分布する原生代初期および太古代の岩石と南側のKeweenawan玄武岩の間に貫入している（第2図）．岩体は北西部が構造的下位で，南東にゆるく傾斜している．大局的にみると中央部がくぼんだ皿状の形（ロポリス）をしている．ロポリス（Lopolith）という貫入岩体の形態はダルース岩体の研究から定義された (Grout, 1918)．一般に層状塩基性岩体にはニッケル，銅，白金族



第2図
ダルース周辺の地質概略図．FC1，AS3，AS57はジルコン標準試料の産地．LD：ローレンシア分水界 (Laurentian Divide) の表示がある地点．Miller and Ripley (1996) 原図．

元素，クロムが資源として存在することが多く，ダルース岩体でも岩石学的研究のみならず資源探査と鉱床学的な研究が進んでいる．当初は単一の巨大な岩体と考えられていたが，最近の研究の結果，幾つかの岩体から成ることが明らかになった．岩相，内部構造，貫入関係から，(1) 初期層状岩系，(2) 珪長質岩系，(3) アノーソサイト系，(4) 層状岩系の4つの系に分けられている（Miller and Ripley, 1996）．初期層状岩系の岩石は岩体北部に認められる．珪長質岩系の岩石はグラノファイヤーを主とし，岩体の上部に産する．アノーソサイト系は岩体の構造的上部をしめ，面構造をもつが層状構造は示さない．層状岩系は多くの独立した層状貫入岩体からなり，アノーソサイト中に貫入している．ダナイト，優黒質トロクトライト，トロクトライト，優白質トロクトライト，斑レイ岩，かんらん石閃緑岩の岩相が認められる．

3. ダルース複合斑レイ岩体のU-Pb年代

ダルース岩体の正確な年代がPaces and Miller (1993) によりジルコンU-Pb法で求められている（第2表）．11億年前（1,100Ma）の岩石について50万年（0.5m.y.）の誤差で年代が求まっており，非常に精度が高いことが読み取れる．アノーソサイト系と層状岩系の間に貫入関係は認められるものの，その年代はいずれも1,099Maと大きな違いがない．初期層状岩系が1,106.9Maと少し古い．これらのことは，ダルース岩体の主要な火成活動は1,099Maを中心とした非常に短い時間に起ったことを示している．ダルース岩体の初期層状岩系の活動から最末期の活動までを考慮しても最大11m.y.であり，Keweenawan玄武岩類の年代から考えられているMidcontinenta Rift Systemに関連した火成活動期間（1109-1086Ma）の23m.y.の半分程度である．ダルース岩体は，リフトに伴う火成活動の中で，その比較的初期の短い時間に，リフト中に貫入したマグマにより形成された巨大な岩体である．

第2表　ダルース岩体のU-Pb年代の概要．

試料	ユニット	岩相	年代（Ma）	
			206Pb/238U	207Pb/206Pb
NLS	初期岩相	カンラン石斑レイ岩	1106.3	1106.9 ± 0.6
FC1	岩体北部	斑レイ岩質アノーソサイト	1099.8	1099.0 ± 0.6
PG2	岩体北部	カンラン石斑レイ岩	1098.5	1098.0 ± 0.5
AS3	岩体南部	斑レイ岩質アノーソサイト	1099.0	1099.1 ± 0.5
D1	岩体南部	カンラン石斑レイ岩	1095.4	1099.3 ± 0.3

Paces and Miller (1993) より．

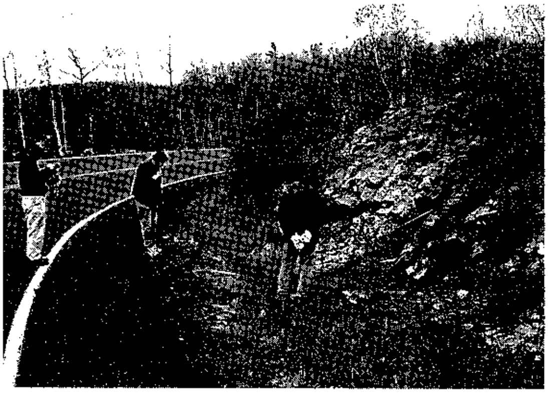
今回のサンプリングでは，第2表の年代で特にコンコーダントなU-PbデータがえられているFC1とAS3の地点で試料採取を計画した．

4. サンプリング

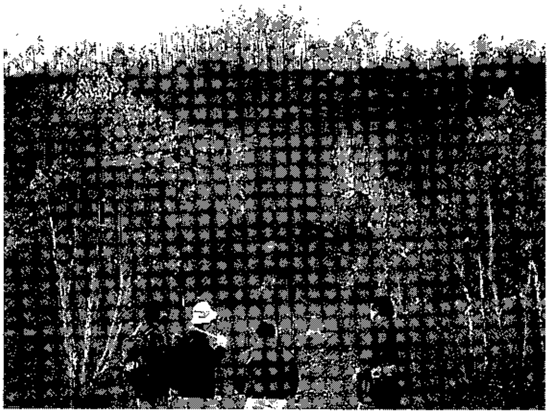
2001年10月11日夕方までに，国立極地研究所，オーストラリア国立大学，産業技術総合研究所地質調査総合センターからの参加者はミネソタ州ミネアポリスに集合した．2001年9月11日以後，海外出張に対しては特別の配慮が必要であったが，予定どおりのサンプリングを行うこととなった．ただし，米国内の空港施設の安全管理は徹底しており，飛行機利用には時間的な余裕が必要であった．小笠原はミネアポリスに向かう前，サンフランシスコに寄り，米国地質調査所で情報収集と幾つかの打ち合わせを行い，またスタンフォード大学でSHRIMP-RGの見学と分析手法についての意見交換を行った．またスタンフォード大学で用いているジルコン標準試料AS57についても説明を受けた．

ミネアポリスに集合した11日に日程の確認を行い，作業手順を決めた．大型4輪駆動のレンタカー2台は，先にミネアポリスに到着していた国立極地研究所により手配された．

12日午前中にミネアポリスのハードウェアーショップにて，サンプリングに必要な器材を購入した．大型の16ポンドハンマーなど各種ハンマー，たがね，試料を日本へ送るためのペール缶40個，安全用ゴーグルなどを調達した．道路脇でのサンプリングも予定していたので，レンタカーには地質研究のための試料採取であることを書いた表示を貼った．準備を完了し，いよいよダルースへ向けて出発した．すぐにミシシッピー川を渡り，さらにミネアポリスと双子の都市として知られるセントポールの町中を通過し北上する．ダルースまではインターステイト・ハイウェイ35号で約250kmの道のりで，湖の多いそして紅葉の美しい平原をひたすら走った．ミネソタ州は多数の湖で特徴付けられる州として知られているように，氷河の後退により形成された小さな湖



第3図　ダルース岩体アノーソサイトAS3の露頭．ダルース市街を見下ろすことができる道路沿いの露頭．ここでは約300kgの試料が採取された．



第4図　ダルース岩体アノーソサイトAS57の露頭．砕石場の跡地．層状岩系マグマが急冷した玄武岩質岩石とアノーソサイトが露出している．玄武岩質岩石は崖の上部に見かけ上水平にアノーソサイトに貫入している．

が点在している．ミネアポリスからは途中1回の休憩で昼過ぎにダルースに到着した．スペリオル湖の北岸は，標高約400mの平原から標高200mのスペリオル湖の湖面へ向かって傾斜する比高約200mのなだらかな崖を形成しており，ダルースに到着する直前，その崖の上からダルースとスペリオル湖が一望できる．もちろん，11億年前のリフト系の地形が存在するわけではないが，リフト渓谷の存在を感じさせる地形である．

ダルースでの昼食後，ただちにダルース市街地の北西側に位置するAS3（ASはAnorthosite Seriesの頭文字）のサンプリングポイントへと向かった（第2図）．Skyline Parkway道路沿いの露頭である（第3図）．オーストラリア国立大学のFanningはこの露頭を含めてすべてのサンプリングポイントへ，年代測定用の試料採取をしたMillerと共にすでに来ており，Paces and Miller (1993)で報告された試料と同じ露頭から試料採取をすることができた．AS3の露頭は岩石の新鮮さが必ずしも良くないが，合計約300kgの試料を採取した．このAS3はカリフォルニア大学ロスアンゼルス校のSIMSで標準試料として用いられている．

次にAS57の露頭へと向かった（第4図）．この露頭はかつて採石が行われていたところで，アノーソサイトと層状岩系マグマが急冷した玄武岩質岩石が露出している．玄武岩質岩石は崖の上部に見かけ上水平に貫入しており，非常に高いTiO_2（8%）で特徴づけられる．この化学的特徴から，この露頭の玄武岩質岩石は月の岩石の近似試料として月面基地の研究に用いられたことがある．アノーソサイト中にはペグマタイト質の部分があり，その部分にジルコンが濃集している．すでに述べたようにここの試料はスタンフォード大学で標準試料として用いられている．ただし，ここのジルコンはややU-Pb系のディスコーダントの程度が大きく，今回のサンプリングの対象とはしなかった．

この後，Skyline Parkwayを南下し，ダルース岩体層状岩系斑レイ岩類の顕著な層状構造と岩相の観察を行い，またダルース岩体の垂直方向の岩相変化について知見を得た．

13日は天気予報で雪の降る可能性が示されていたが，幸いにも雪はなく，朝から小雨の天気であった．ダルース市街の北東でダルース岩体の珪長質岩系のメンバーである花崗岩質岩を見学した．Red granophyerとよばれ，石英と赤色のカリ長石を主とする．この後，ダルースを離れ，スペリオル湖沿いにTwo Harborsへと向かい（第2図），そこからエリ（Ely）へと北上した．ダルースからエリまでは約160km．Two Harborsから先は舗装がされていない．昼前にFC1（FCはForest Centerの略）の露頭に到着した．ときおり小雨が降る中，今回のサンプリングの目的であるFC1を取るため，作業に取り掛かった．露頭からは，すでにオーストラリア国立大学が大量の試料を採取しており，取り易い岩石ブロックは少なくなっていた．

この露頭から道路を挟んだ反対側，約7m離れ

第5図　ガブロレイク．ダルース岩体のガブロが湖の名称になっている．湖の岸はダルース岩体のガブロが見られる．何万もの小さな湖が点在するミネソタ州北部の典型的な風景．

た地点には，より簡単にサンプリングが出来そうな岩石ブロックがあるが，標準試料として用いる必要から，あえて同じ露頭の同じ岩盤ブロックからサンプリングをすることとした．午後3時ごろまでサンプリングを行い，この日の作業を終え，一路エリへと向かった．途中太古代花崗岩の露頭でミネソタ大学の学生巡検のグループと会い，我々のグループも花崗岩を観察した．暗くなる前にエリに到着した．エリはカナダとの国境まであと30kmの米国本土北端に位置する．

エリの宿で試料整理を行い，また今後の予定について検討した．翌日再度FC1の露頭でサンプリングを行うが，現在の道具ではこれ以上のサンプリングが困難と考え，この町で鉄製のバール等の道具を探すこととした．

14日の朝，小さなエリの町で工具屋等を探し廻り，やっと，鉄製のバール状の道具をアウトドア店から借用することが出来た．この道具を持って，FC1の露頭へと向かった．露頭では岩盤との取っ組み合いである．午後になり．鉄製のバールのおかげで，重さ約200kgのブロックを取ることもできた．5人で作業すればの成果である．午後2時過ぎにほぼ作業を終え，周辺の地質を見学しながらエリへと戻る．Fanningは今後より適当な試料を得るための予察を行った．途中Gabbro Lakeの案内板があり，早速向かうこととした．ダルース岩体のGabbro（斑レイ岩）が点在する湖で（第5図），ひとときの休憩をとった．この日で今回予定したサンプリングをすべて終了することができ，当初の目的を達成できた．

第3表　ジルコン分離用試料の全岩微量成分組成．

微量成分	FC1	AS3
Zr	51.4	201
Y	11.4	49.5
Sr	383	431
Rb	11.4	34.8
U	1.7	2.4

蛍光X線分析法により求める．(単位：ppm)．

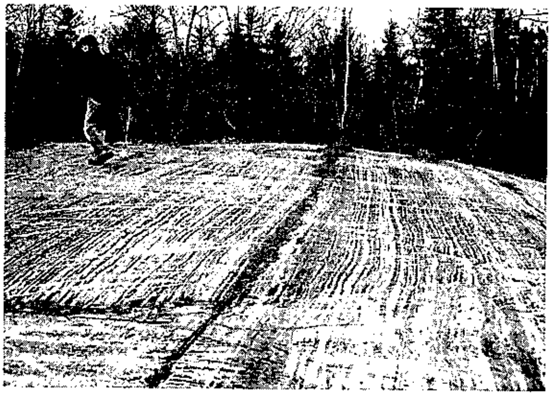
帰国後FC1とAS3の全岩のZr濃度をXRFにて測定し（第3表），ジルコンの存在度について検討を加えた．Paces and Miller (1993)は全岩のZrについてFC1が55-75ppm，AS3が約150ppmと示しているが，今回採取された試料はFC1が少し低め，AS3が少し高いがほぼ同じレベルであることが確認された．したがって，ジルコンが予定されている程度含まれていることが期待される．岩石中のZrがすべてジルコンを作っていると仮定すると，このZrの濃度から，FC1の場合，ジルコンが0.01％含まれることになる．地質調査総合センターは約200kgのFC1を採取したので，その中に20gのジルコンが含まれていることになる．粉砕や鉱物分離作業におけるロス，また標準試料として適当な粒子の選択の必要性を考え，回収率を1割とすると2g程度のジルコンが得られることになる．国立極地研究所と地質調査総合センターはFC1とAS3合わせて約1tの試料を採取したが，最大でも数十gのジルコンが得られるだけである．これが今回の成果である．

FC1のジルコン結晶は平均して長さ0.5mmの長柱状をしている．この大きさを基に計算すると一粒の重量は20マイクログラム程度となる．したがって，FC1のジルコン2gには10万粒のジルコン含まれることになる．1試料マウント当たり，10粒の標準ジルコンを用いたとしても1万個分の試料マウントが作製可能となる．数gのジルコンではあるが，今後何年にもわたって標準試料として用いられることが期待される．

5. ダルース岩体周辺の地質と鉱物資源

15日はエリからダルースへ戻った．途中，太古代から初期原生代の岩石が露出する地域を横切るの

第6図　縞状鉄鉱層．Soudanでのアルゴマ型縞状鉄鉱層．この地域ではVermilion型と呼ばれる．鉱床はジャスパーまたはチャートと赤鉄鉱または磁鉄鉱の細かい互層からなり，強く褶曲している．



第7図　太古代Lake Vermilion層のグレイワッケ．氷河により削剥された岩盤の露頭．氷河により磨かれた表面では，級化層理，小断層等細かい構造が観察できる．

で，巡検を兼ねての移動である．太古代の岩石は北部に，またそれを不整合に覆い初期原生代の地層がその南に分布する(第2図)．太古代の地帯はグリーンストン帯と花崗岩帯に区分される．

エリの西30kmに位置するVermilion地域のSoudanには太古代グリーンストン帯中に鉄鉱床があり，かつては盛んに開発されていた．現在，Soudanの鉄鉱山は坑内が夏場のみ見学可能な博物館となっている．旧鉱山事務所近くにはこの鉄鉱床の露頭がある．鉱床は，縞状鉄鉱層(BIF)のアルゴマ型(Gross, 1980)である．アルゴマ型の典型的な鉱床はスペリオル湖の東岸のカナダ側アルゴマ地域に分布する．ダルース地域ではアルゴマ型はVermilion型と呼ばれる．鉱床はジャスパーまたはチャートと赤鉄鉱または磁鉄鉱の細かい互層からなり，強く褶曲している(第6図)．太古代の火山活動に伴い形成されたと考えられている．鉄鉱床の形成は26億年以上前である．

第8図　玄武岩質枕状溶岩．太古代グリーンストーン帯のメンバー．この露頭も氷河により削剥された岩盤である．明瞭な枕状構造から溶岩の上下方向を読み取れる．また岩盤表面のすじ(写真の垂直方向)は氷河の流動により出来たもの．

Soudanのさらに西約10kmでは太古代Lake Vermilion層のグレイワッケの露頭がある(第7図)．この地層はグリーンストン帯の玄武岩類や鉄鉱層を覆い，火山島弧の縁辺部に堆積したと考えられている．第8図は太古代グリーンストン帯の層序的に最下位の玄武岩質枕状溶岩で，枕状構造が氷河で削剥された岩盤面で見ることができる．更新世の氷河によるもので，ミネソタ州の北部では氷河による削剥が卓越している．一方，南部は氷河堆積物(岩屑)が厚く堆積している．

スペリオル湖北西の太古代花崗岩帯を構成する花崗岩質岩はGiant Range Graniteと呼ばれ，粗−中粒の角閃石黒雲母トーナル岩と花崗閃緑岩からなり，グリーンストン帯の地層に貫入している．一般に均質であるが，岩体周辺部では多くの岩相と複雑な貫入関係が認められる(第9図)．この露頭はMesabi Rangeのすぐ北に位置しており，ローレンシア分水界(Laurentian Divide)と呼ばれる小高い丘を横切るルート53号道路沿いの切り割りである(第2図)．水は，この分水界から北に流れるとハドソン湾へ，東へはセントローレンス川を経由して大西洋へ流れ，また南に流れるとミシシッピー川を流れてメキシコ湾へと至る．北米大陸の重要な

第9図 Giant Range Granite. 太古代の粗粒の角閃石黒雲母花崗閃緑岩と角閃岩質岩石. 脈状の部分はペグマタイト質の花崗閃緑岩. 花崗閃緑岩と角閃岩や緑色結晶片岩のブロックが複雑に入り交じっている. ルート53号道路沿いの小さな峠にある露頭. 地図にはローレンシア分水界の表示がある.

分水界である. この地域の太古代花崗岩はローレンシア花崗岩類と総称される. 太古代の岩石が分布するカナダ盾状地はローレンシア盾状地とも呼ばれる. またカナダ盾状地, グリーンランド, スコットランド, 及びヨーロッパの一部からなる太古代の超大陸であるローレンシア大陸の名称の元になっている. ただし, ローレンシアの地名はカナダ, ケベック州, セントローレンス川近傍の地名で, 原生代のグレンビル造山により形成された花崗岩からなる地域である. 放射年代の情報がない19世紀末に, スペリオル湖北西の太古代花崗岩類をグレンビル造山により形成された花崗岩と対比したことがこの名称の起源である. ローレンシア花崗岩類の名称をグレンビル造山により形成された花崗岩に関してのみ用いるべきだとの意見もあるが, ローレンシアは太古代の造山運動と大陸の名称としての地位をすでに確立している. またこの名称は地質学上の解釈からさらに地形学上の解釈へ波及し, 地図にはローレンシア分水界と示され, そこには太古代花崗岩類が分布する.

Mesabi地域に入ると, 太古代の岩石が初期原生代の地層に覆われる. 初期原生代の地層の最下部に縞状鉄鉱層が産する. このBIFはスペリオル型(またはスペリオル湖型)で, スペリオル型という名称はこの地域のBIFの特徴から名づけられた(Gross, 1980). スペリオル湖周辺は, オーストラリアのハマスレー地域等と共に, 世界の最も重要な鉄鉱床地域である. 現在もMesabi地域からは盛んに鉄鉱石が採掘されている. スペリオル湖周辺にはこの他, Cuyuna Range, Gunflint Range, Gogebic Range, Marquette Range, Menomiee Rangeに鉱床が分布する. ミネソタ州の鉄鉱石の年間産出量は約4千万トンで, ミネソタ州の重要な産業である. ダルース岩体北東部に位置するGunflint Rangeの縞状鉄鉱層は初期原生代のシアノバクテリアの化石が産することでも知られている(第2図).

第10図 Mesabi地域の初期原生代縞状鉄鉱層. 世界的にも重要な鉄鉱石資源.

Mesabi地域の縞状鉄鉱層はBiwabik層とよばれ, 磁鉄鉱, チャート, および頁岩シルト岩の互層からなる(第10図). この地域では縞状鉄鉱層の厚さは100-250mで, 走向方向に150km以上連続している.

6. ダルースの町

15日夕方, 巡検を終えダルースの町へと戻ってきた. ダルースはスペリオル湖に面しており, また鉄鉱床の分布地域の中心に位置していることから, 鉄鉱石の積み出し港(第11図)として重要で, 5大湖を利用した水上交通の内陸部側の終点でもある. ダルースの町の南, スペリオル湖の西岸に沿って, 長さ15kmの砂州が発達しており, その背後が良好な港湾となっている(第12図). ダルース市の人口は, 現在86,000人と小さな都市であるが, 港湾とそれに接続する鉄道網が発達し, ミネソタ州北東部における鉄鉱石, 石炭, 穀物の輸送拠点として19世紀から栄えてきた町である. そんな伝統のある雰

第11図　鉄鉱石の積み出し港．中央の2本の桟橋が鉱石ドックと呼ばれている．鉄鉱石鉱山から港までの鉄道網が整備されている．運輸業はダルースの主たる産業である．

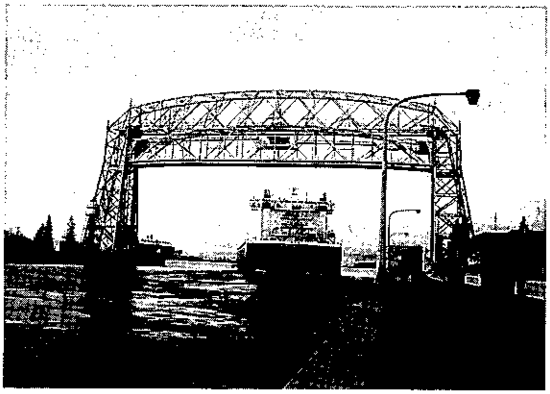
第12図　ダルースの南に延びる砂州．砂州の延長約15km．スペリオル湖は左側．砂州の内側には港が多い．

囲気は町中のいたるところで感じられる．特に鉱石運搬船等が通過するたびに上昇する橋，Areal Lift Bridge（第13図）はダルースのシンボルとして親しまれている．年間1,000隻を越える大型船がここを通過している．

ダルースを中心とするスペリオル湖北東部は，世界的に有数な鉄鉱石資源が分布し，また巨大なダルース層状岩体を始め11億年前の大陸リフトを構成する岩石の良好な露出があり，最近ではダルース岩体中の小さなジルコン結晶が注目されるという地質学的に興味深い地域である．

7. おわりに

16日午前，Fanning，三澤，山口の3人は1トンの試料と共に車でミネアポリスへ向かい，試料発



第13図　ダルースの町のシンボルとして親しまれるAreal Lift Bridge．船が通過する時，約5分かけて，中央部が上昇する．

送を行った．同日午後，小笠原と白石はダルース空港から，ミネアポリス経由で帰国の途についた．今回，ジルコン標準試料用のサンプリングが目的であったが，ダルース岩体とその周辺の地質についての知見が得られ，標準試料として用いるジルコンのU-Pb年代，1,099Maの地質学的意味についの理解が深まった．今後ジルコンの分離，さらにU-Pb年代測定の標準試料として用いるとき，これらのことは基礎的知識として生かされると考えられる．

文　献

Gross, G.D. (1980) : A classification of iron formations based on depositional environments. Canadian Mineralogist, 18, 215-222.

Grout, F.F. (1918) : The lopolith, an igneous form exemplified by the Duluth gabbro. Am. Jour. Sci., ser. 4, 46, 516-522.

Hess, P.C. (1989) : Origins of Igneous Rocks. Harvard Univ. Press, Cambridge, p336.

Miller, J.D. Jr. and Ripley, E.M. (1996) : Layered intrusions of the Duluth Complex, Minessota, USA. Cawthorn R.G. (ed.) Layered Intrusions, Elsevier Science, Amsterdam, 257-301.

Paces, J.B. and Miller, J.D. Jr. (1993) : Precise U-Pb ages of Duluth Complex and related mafic intrusions, northeastern Minnesota: geochronological insights to physical, petrogenetic, paleomagnetic, and tectonomagmatic processes associated with the 1.1 Ga Midcontinent Rift System. Journal Geophysical Research, 98, B8, 13,997-14,013.

Van Schmus, W.R. and Hinze, W.J. (1985) : The Midcontinent Rift System. Ann. Rev. Earth Planet. Sci., 13, 345-383.

OGASAWARA Masatsugu, SHIRAISHI Kazuyuki, FANNING Mark, MISAWA Keiji and YAMAGUCHI Akira (2002) : Sampling of Standard Zircons from the Duluth Complex, Minnesota.

＜受付：2002年3月6日＞