

最古の岩石, その後

—アミツォク片麻岩からアキャスタ片麻岩へ—

柴田 賢¹⁾

1. はじめに

本誌の1982年2月号に、「最古の岩石」と題してグリーンランド南西部ゴットホープ産のアミツォク片麻岩の紹介をした。アミツォク片麻岩の年代は約38億であり、世界最古の岩石として認められてきた。この岩石は地質標本館にも展示してある(写真1)。しかしごく最近カナダ盾状地で約40億年という片麻岩が発見され、どうやらアミツォク片麻岩は最古の岩石としての座を明け渡すことになりそうである。

ここでは、1982年以降の「最古の岩石」論をふりかえり、今回報告された最古の岩石の年代を紹介する。

2. オーストラリア Yilgarn 地塊

Froude(1983)はオーストラリア西部の始生界 Yilgarn 地塊中の珪岩から分離した碎屑性ジルコンについて、イオンマイクロプローブ質量分析法により U-Pb 年代測定を行い、その結果を1983年に Nature に報告した。彼らの得た年代は、おどろくべきことに4,100~4,200Maという、これまでに報告されたことのない古い値であった。古いジルコンを含む珪岩は、Yilgarn 地塊北西端に近い Mt Narryer という所からのもので、珪岩の周囲をとりかこむように花崗岩質片麻岩や正片麻岩が分布し、それらの年代は3,500~3,600Maであることがわかってる(第1図)。測定を行ったのはオーストラリア国立大学地球科学教室の W. Compston をリーダーとするグルー

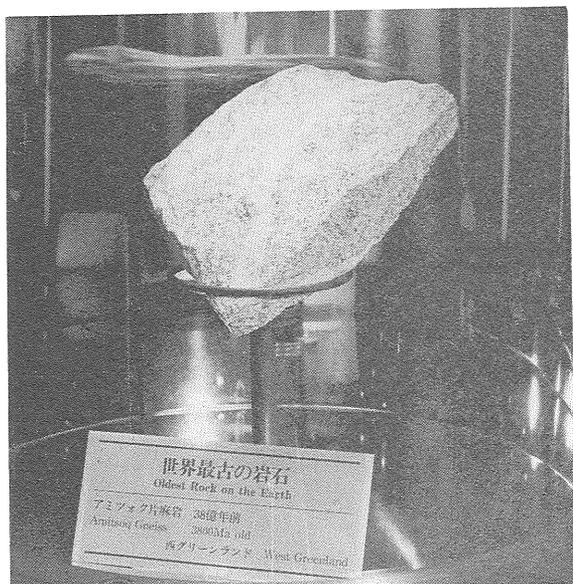
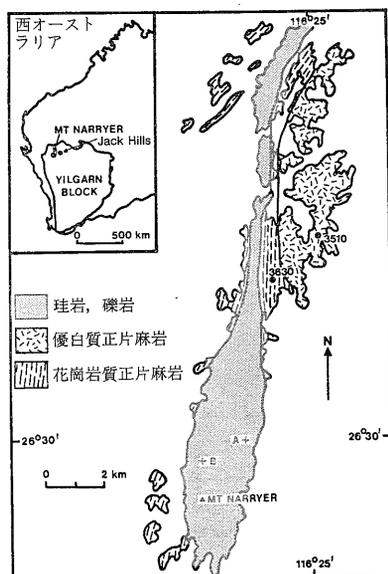


写真1 地質標本館に展示してある世界最古の岩石アミツォク片麻岩。



第1図 Mt Narryer 地域の地質図 (Froudeら, 1983).

A, B が試料採取地点, 図中の数字は Sm-Nd 年代。

1) 地質調査所 地殻化学部

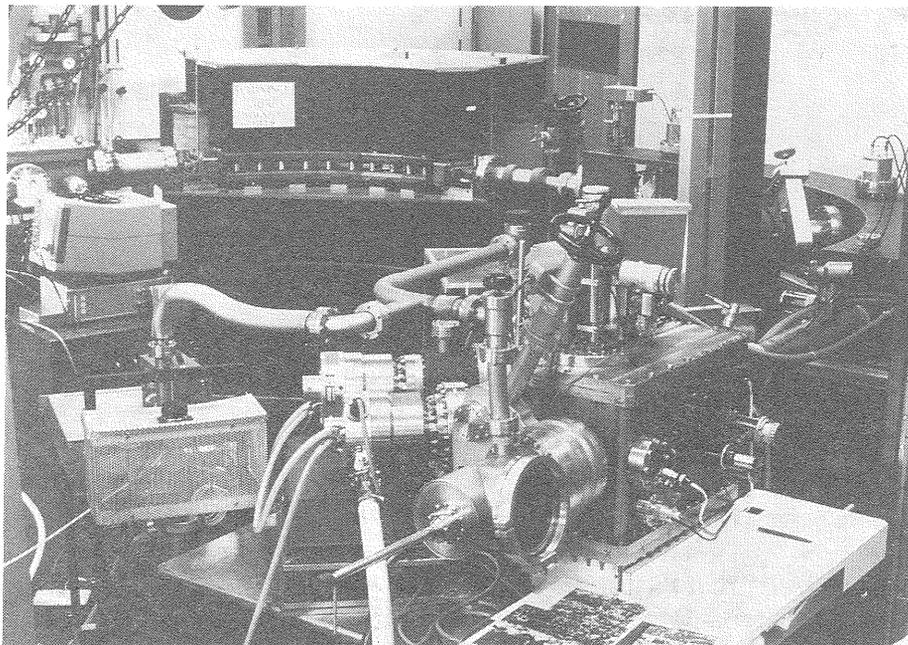
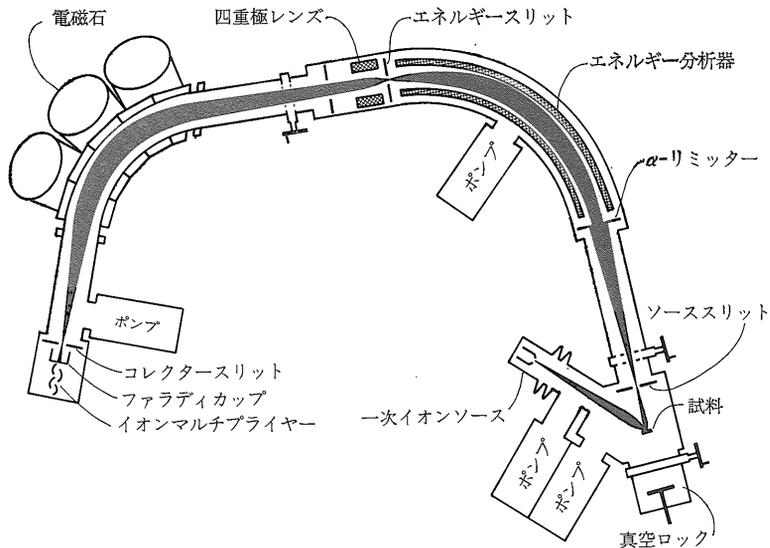


写真2 オーストラリア国立大学のイオンマイクロプローブ質量分析計 SHRIMP (Dr. Compston 提供).

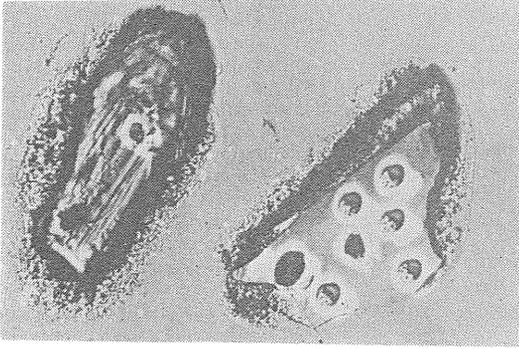
プで, SHRIMP (Sensitive High-Resolution Ion Microprobe, 写真2, 第2図) という愛称をもつ改良されたイオンマイクロプローブ質量分析計が使用された.

イオンマイクロプローブ法は二次イオン質量分析法 (SIMS: Secondary Ion Mass Spectrometry) の一種で, 特に照射イオンビームを細束化したものである. SHRIMP の場合には, 一次イオンビームとして 11kV に加速した O_2^- イオンを用いてジルコン粒を照射し, 放出される二次イオンを 6,500 以上の高分解の質量分析計によりイオ

ンカウンティングで測定する. 照射ビーム径は $40\ \mu m$ 以下である. 第3図に Froude らが測定したジルコン粒上の照射スポットの写真を, また測定結果を $^{207}Pb/^{235}U - ^{206}Pb/^{238}U$ 図 (コンコーディア図, 豆辞典参照, 第4図) に示した. この図には1個の珪岩から分離した20個のジルコン粒の U-Pb データが示されており, そのうちの4個のデータ点が 4,100~4,200 Ma のコンコーディア (図中の曲線) 上かその近くにプロットされる. 残りの多くは ~3,750Ma と ~3,500Ma の若い年代を示す. コンコー



第2図
イオンマイクロプローブ質量分析計, SHRIMP のイオン光学系 (Dr. Compston 提供). なお本装置は SHRIMP II (ANU TECH 社) として市販されている.



第3図 ジルコン面上のマイクロプローブ照射スポット (Froude ら, 1983). スポットの径は約 25 μ m.

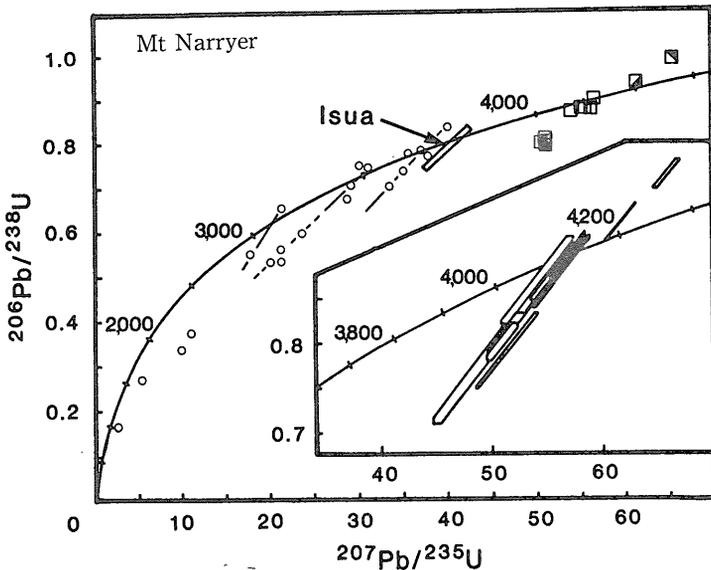
ディアから左下の方向にはずれるのは、後の時代の変成作用により放射起源の Pb が失われたためであり、またコンコーディアより上にプロットされるものは、U の逸脱によるものと解釈される。正片麻岩の Rb-Sr 全岩年代が 3,350Ma であることから、珪岩も正片麻岩と同時期に高度の変成作用を受けたことが明らかであり、ジルコン中の Pb やU の移動は起こり得たであろう。

この年代の重要性は、41 億年より以前にこの地域に古い基盤岩が露出していたことを物語っていることである。このことに関して、Moorbath (1983) はコメントを Nature の同じ号に寄稿して、つぎのようにのべ、"One swallow does not necessarily make a summer and four zircon grains from a single quartzite sample do not necessarily make a continent."、この年代の過大評価をいましめている。さらに、4,100~4,200Ma と

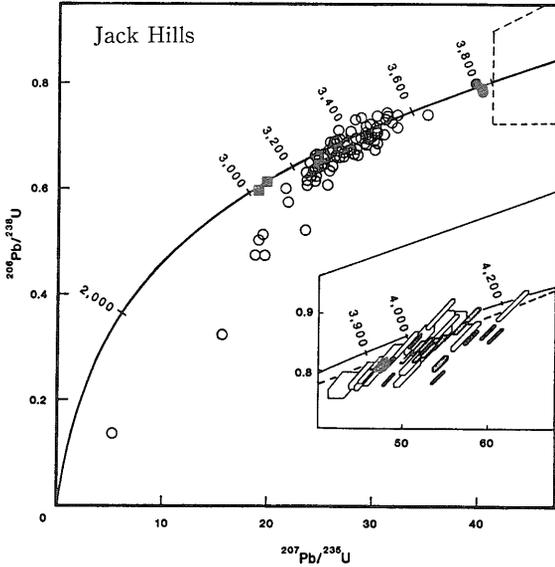
う年代は、~3,700 Ma のジルコンが 3,300Ma の変成作用を受けて U が逸脱し、さらに最近における Pb 逸脱の結果もたらされた、見かけ上の古い年代にすぎない、という可能性も指摘している。もちろん Froude らもこの点については言及しており、否定的な見解をのべている。

その後 Schärer and Allègre (1985) は 4,100~4,200 Ma の年代が求められた岩石からのジルコンをオーストラリア国立大学のグループからもらい、固体質量分析計と同位体希釈法による通常の方法でジルコン粒毎の U-Pb 年代の測定を行ってみた。その結果は古い年代は得られず、3,800~3,300Ma の年代をもつことが示された。その原因として、古いジルコン粒がたまたま測定されなかった可能性は否定できないとしながらも、自分達のデータがすべて不一致年代を示すのに対して、4,100~4,200Ma の年代を示すデータはほぼ一致年代を示す(コンコーディア上かその近くにプロットされる)ことを指摘しており、暗に後者の年代に対して疑問をいただいたように思われる。

最古の鉱物に関する論争はその後も Nature 誌上で続いた。Compston ら (1985) はその後の追加測定の結果から、古いジルコンの存在度は 5/260 であり、従って Schärer and Allègre (1985) が選んだ32個のジルコンの中に、古いジルコンが全く含まれない確率は約53%であり、彼らが古い年代を求められなかったとしても、おどろくにあたらないとした。また不一致年代の問題についても、マイクロプローブ法の測定誤差が大きいことを考慮すれば、違いがあるとはいえないと反論した。このような誌上での徹底した論争は大変興味深く、またオース



第4図 Mt Narryer の珪岩から分離したジルコン粒のコンコーディア図 (Froudeら, 1983). "Isua" はグリーンランド、イヌア表成岩のジルコンのデータ。



第5図 Jack Hills の礫岩から分離したジルコン粒のコンコードィア図 (Compston and Pidgeon, 1986).

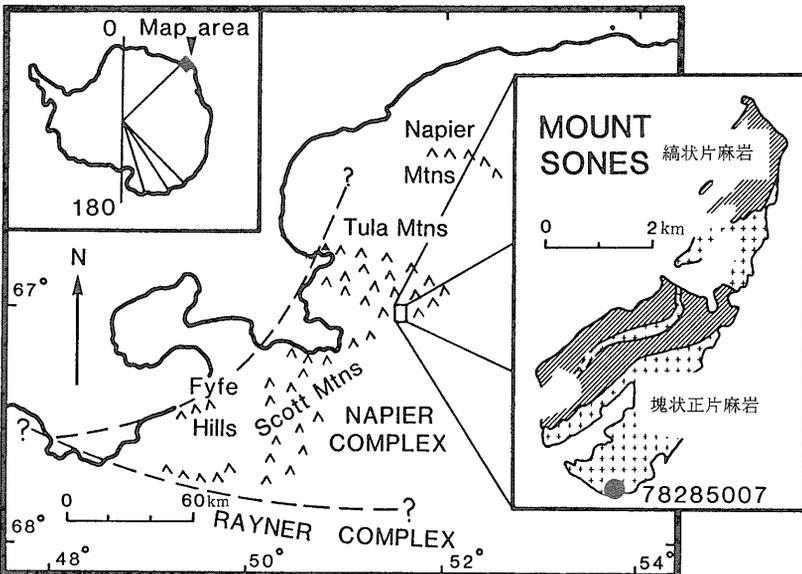
トラリア国立大学のグループの新しい測定法と年代結果に対する自信の程にはおどろかされる。

オーストラリア Yilgarn 地塊においては、その後 Compston and Pidgeon (1986) が Mt Narryer の北東約 60km の Jack Hills からの、チャートの小礫を含む礫岩中の碎屑性ジルコンについて、4,276Ma という更に古い U-Pb 年代を発表した (第5図)。Jack Hills の場合は古い年代の求められた割合が 12% と高く、これは Mt Narryer の 5 倍である。従ってジルコンの供給源と

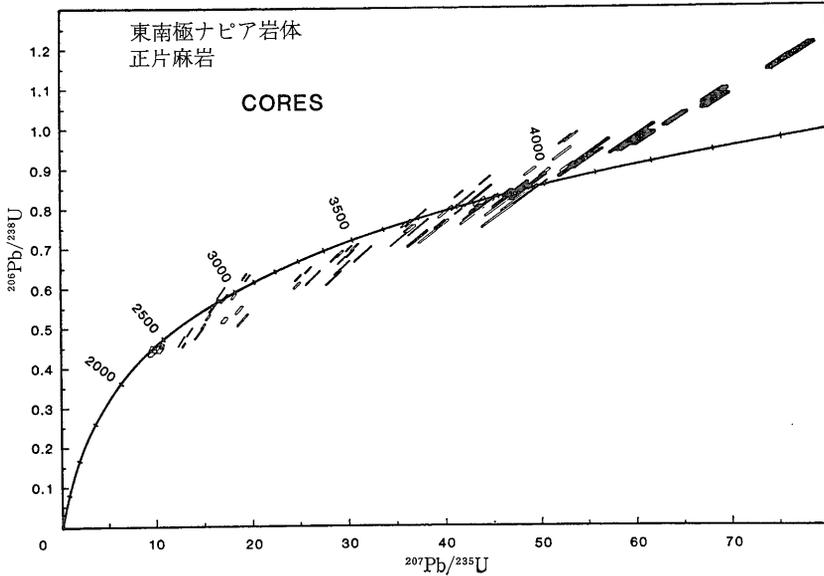
なった岩石がもし存在しているとすれば、Mt Narryer より Jack Hills により近い所にあるであろうと推定されている。さらに、ジルコンの形態や U, Th 含有量から、Jack Hills のジルコンは苦鉄質岩石に由来し、Mt Narryer のものは珪長質岩石に由来すると考えた。

3. 南極ナピア岩体

Yilgarn 地塊で発見された 4,200~4,300Ma という年代は、堆積岩中の碎屑性ジルコンについて求められたもので、ジルコンを供給した元の岩石はいまだに発見されていない。この意味でこのジルコンは世界最古の鉱物ではあるが、それを含む岩石は最古の岩石ではない。ところが 1986 年 Compston のグループは SHRIMP を用いてついにアミツォク片麻岩をしのぐ最古の岩石を発見した (Black ら, 1986)。この岩石は東南極エンダービーランドの始生界ナピア岩体 (Napier Complex) 中の正片麻岩である。この地域ではもともと 3,500Ma をこす古い年代がいくつか報告されており、世界的に最も古い盾状地の一つであると考えられてきた。Mount Sones 地域 (第6図) のグラニユライト相の変成作用を受けた正片麻岩のジルコンについての U-Pb 年代は、第7図に示されるように 2,500Ma から 4,000Ma にわたって分布する。その中でジルコンのコアの部分の年代はコンコードィア上の 3,927Ma と 2,225Ma の点を結ぶ線上に並ぶ。このことから、3,927 Ma という年代は正片麻岩の原岩であるトーナル岩が形成された年代を表すと解釈された。これはグリーンランドのアミツォク片麻岩やイスア表成岩



第6図 東南極ナピア岩体, Mount Sones 地域の地質図 (Black ら, 1986).



第7図 Mount Sones の正片麻岩中のジルコン粒によるコンコードシア図 (Black ら, 1986). 黒くぬりつぶした点がコアの部分.

(Isua supracrustal rocks) の～3,800Ma より古く, 世界最古の岩石として認められた. なお3,927Ma という年代はごく最近, U/Pb 標準の再検定の結果, 3,870Ma と値が改訂された. 第7図にみられるように, Mount Sones のジルコンの特徴は, 特にコアの部分に過剰の放射起源 Pb が認められることである. これは～2,500Ma に起った地質事変によってもたらされたもので, Pb の移動と共に, U, Th の逸脱もこの時起こったらしい.

4. カナダ盾状地 Slave 区

1989年11月の Geology という雑誌の表紙に, “Oldest crustal rocks found” という表題と共に, 新たに発見された最古の岩石からのジルコンの拡大写真が掲載されている (写真3). この岩石はカナダ盾状地北西部の Slave 区に属するアキャスタ (Acasta) 片麻岩である. この地域は南部の Superior 区と共にカナダ盾状地の中の始生界に属する区域で, 花崗岩質岩石や表成岩 (イエローナイフ系) からなる (第8図). 花崗岩や火山岩のほとんどは 2,600Ma の頃に形成された. SHRIMP による U-Pb 年代測定は, 角閃岩～トータル岩質縞状片麻岩と優白質斑状花崗岩質片麻岩のジルコンについて行われた (Bowring ら, 1989b). 第9図は 縞状片麻岩中のジルコンについてのコンコードシア図である. データ点はかなり複雑な配列を示すが, 6 個の最も古い $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年代は 3,964Ma である. 斑状片麻岩の方も 3,958Ma という年代が求められ, アカスタ片麻岩は 3,962Ma (2つの年代の平均) に形

成されたと考えられた. この年代はナピア岩体の 3,870 Ma よりも更に古く, まさに世界最古の岩石ということになる. この岩石については, Nd 同位体測定により 4,100Ma というモデル年代が報告されており (Bowring ら, 1989a), より古い起源物質の存在を示唆している.

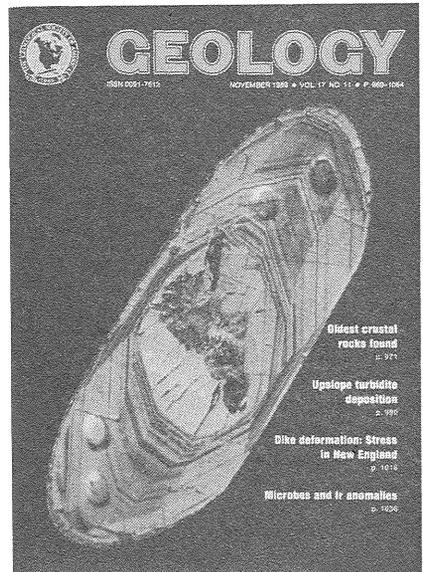
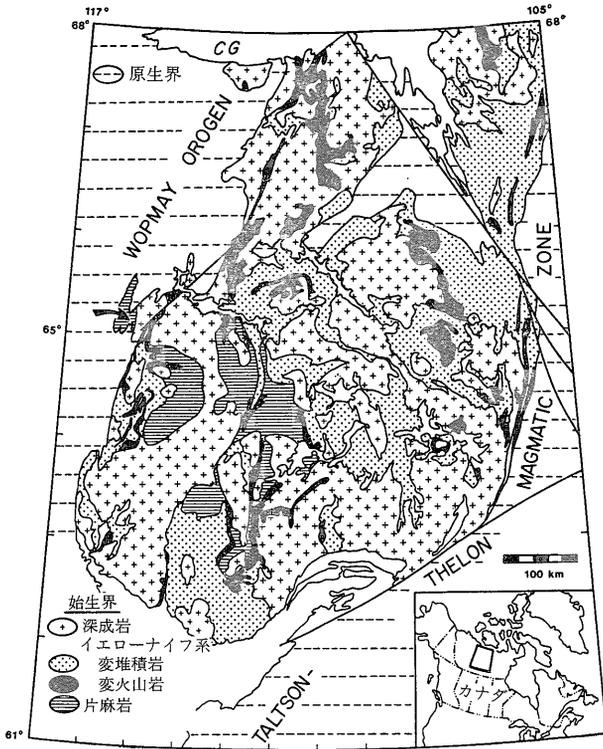


写真3 縞状片麻岩 (BGXM) のジルコン面の写真 (著者および GSA の許可を得て Geology 1989年11月号表紙より転載). 均質なコアを取り囲んで累帯構造を示す部分, さらにその外側に薄い均質な部分が認められる. ジルコン粒の長径は0.50mm, マイクロプローブによるスポットの大きさは20×30μm.

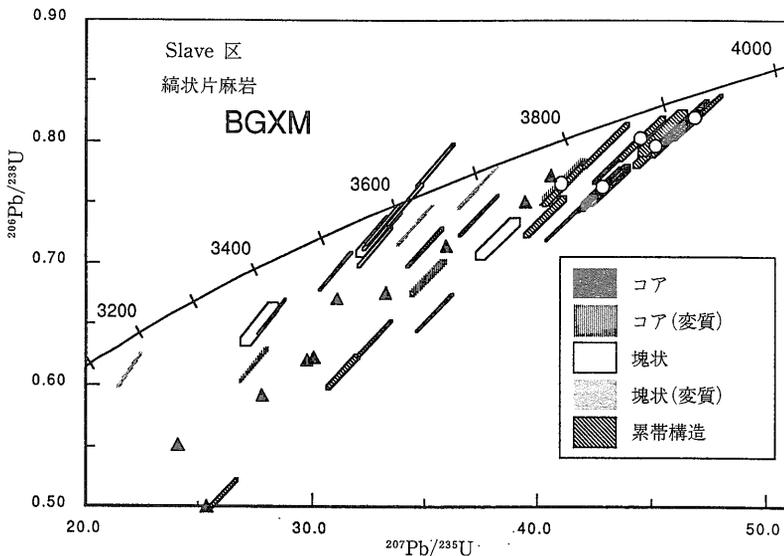
5. あとがき

1980年代における「最古の岩石」論争は、オーストラリア国立大学の SHRIMP を主役として行われてきた。SHRIMP の果たした役割はきわめて大きく、それはまさに偉大な“小えび”といえる。今後も SHRIMP の活躍は、地球の年代である46億年にどれだけせまれるか、を目標につづくことであろう。同時に SHRIMP の本当の信頼性の検証のために、他の研究機関の測定器や別の測定法による裏付けも重要であろう。最後に、標本館に展示してある最古の岩石についても、取りかえの検討をする時期にきていると言わねばならない。ただし、アミツォク片麻岩の名誉のために一言つけ加えれば、ナビア岩体やアキャスト片麻岩では、Rb-Sr 全岩法はいうにおよばず、Sm-Nd 全岩法によっても～39億年という古い年代は求められていない。これに対して、アミツォク片麻岩では Rb-Sr、Sm-Nd 全岩法により～38億年という立派なアイソクロン年代が求められており、古い証拠をよりよく残している貴重な岩石といえることができる。

SHRIMP に関する写真、図面を提供していただいたオーストラリア国立大学 Dr. W. Compston に厚く御礼申し上げる。なお、第1, 3, 4 図及び第5 図は、Macmillan Magazines Ltd. の許可を得て、Nature, vol. 304, no. 5927, pp.616-618, 及び vol. 321, no.6072, pp.766-769 から、第6, 7 図は Springer-Verlag 社の許可を得て、Contrib. Mineral. Petrol., vol. 94, p.427-437 から引用した。



第8図 カナダ盾状地 Slave 区の地質図 (Bowring ら, 1989b)。



第9図 縞状片麻岩 (BGXM) のジルコン粒のコンコーディア図(Bowring ら, 1989b)。

文 献

BLACK, L. P., WILLIAMS, I. S. and COMPSTON, W. (1986): Four zircon ages from one rock: the history of a 3930 Ma-old granulite from Mount Sones, Enderby Land, Antarctica. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **94**, 427-437.

BOWRING, S. A., KING, J. E., HOUSH, T. B., ISACHSEN, C. E. and PODOSEK, F. A. (1989a): Neodymium and lead isotope evidence for enriched early Archaean crust in North America. *Nature*, **340**, 222-224.

BOWRING, S. A., WILLIAMS, I. S. and COMPSTON, W. (1989b): 3.96 Ga gneisses from the Slave province, Northwest Territories, Canada. *Geology*, **17**, 971-975.

COMPSTON, W. and PIDGEON, R. T. (1986): Jack Hills, evidence of more very old detrital zircons in Western Australia. *Nature*, **321**, 766-769.

COMPSTON, W. et al. (1985): The age of (a tiny part of) the Australian Continent. *Nature*, **317**, 559-560.

FROUDE, D. O., IRELAND, T. R., KINNY, P. D., WILLIAMS, I. S., COMPSTON, W., WILLIAMS, I. R. and MYERS, J. S. (1983): Ion microprobe identification of 4,100-4,200 Myr-old terrestrial zircons. *Nature*, **304**, 616-618.

MOORBATH, S. (1983): The most ancient rocks? *Nature*, **304**, 585-586.

SCHÄRER, U. and ALLÈGRE, C. J. (1985): Determination of the age of the Australian continent by single-grain zircon analysis of Mt Narryer metaquartzite. *Nature*, **315**, 52-55.

柴田 賢 (1982): 最古の岩石. 地質ニュース, no. 330, 65-67.

SHIBATA Ken (1990): The oldest rock —From Amitsoq gneiss to Acasta gneiss.

<受付: 1990年1月22日>

豆辞典

コンコーディア図 (CONCORDIA DIAGRAM)

U-Pb 法による年代測定においては, ^{238}U が ^{206}Pb に, ^{235}U が ^{207}Pb に壊変する系列を利用して 2 つの年代が独立に求められる, 年代計算式は

$$^{206}\text{Pb}^* = ^{238}\text{U} (e^{\lambda_8 t} - 1) \quad (1)$$

$$^{207}\text{Pb}^* = ^{235}\text{U} (e^{\lambda_5 t} - 1) \quad (2)$$

である. ここで Pb^* は放射起源の鉛の数, λ_8, λ_5 は ^{238}U , ^{235}U の壊変定数である. 式 (1) と (2) において同じ年代値に対して $^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$ 比と $^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$ 比が決まり, 両比を軸とする図上に年代をパラメーターとする曲線として表現される. この曲線はコンコーディア (一致曲線) と呼ばれ, 2 つの U-Pb 年代が一致する場合の点の軌跡である. 実際には, 2 つの U-Pb 年代は一致しないことが多い. この場合には, 一組の試料 (ジルコンなど) はコン

コーディア図において直線上に並ぶことが特徴であり, この直線をディスコーディア (不一致線) と呼ぶ. ディスココーディアとコンコーディアとの上方の交点が試料の生成年代を, 下方の交点が Pb の逸脱の起こった年代を示す.

式 (1) と (2) から

$$\left(\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}\right)^* = \frac{^{235}\text{U}}{^{238}\text{U}} \times \frac{(e^{\lambda_5 t} - 1)}{(e^{\lambda_8 t} - 1)} \quad (3)$$

という式が導かれる. ここで $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ (現在比) = 1/137.88 であるので式 (3) は試料の鉛の同位体比のみから年代が求められることを意味し, この年代は $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年代と呼ばれる. $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年代は最近における鉛の逸脱の影響を受けないので真の年代に近いという特徴がある.

(地殻化学部) 柴田 賢