

グリーンランド・イスア地域の岩石に刻まれた初期地球の姿

掛川 武¹⁾

1. はじめに

1960～70年代のグリーンランドにおける鉱物資源探査に伴い、イスア地域には世界最古の地層が分布していることが解かった。その後、現在に至るまで多くの科学者が、このイスアを研究対象地域としてきている(第1図)。イスアとは、グリーンランド語で「地が消え果てる場所」という意味があるという。そこから先は大地が大陸氷河に覆われ見えなくなる地域のことを指す。地が消え果てる場所の向こうに初期地球の姿が見えてくるわけである。

グリーンランドに居住するのはイヌイット系の人々が大多数であり、ヨーロッパやカナダからの移民を



写真1 ゴッサブ・フィヨルド内部の風景。



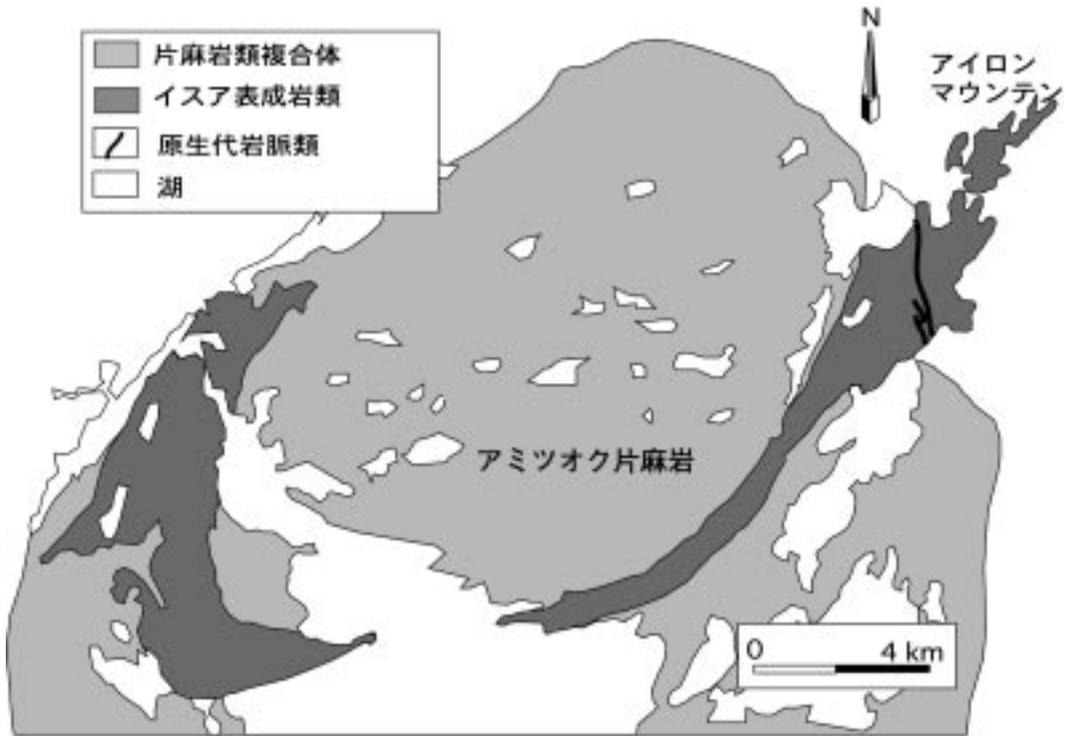
第1図 グリーンランドにおける始生代岩石の分布地域。

含め6万弱の人が居住している。政治上デンマーク領となっているが、一種の独立したグリーンランド政府も存在し、首都はヌークにある(口絵1)。ヌークは人口1万5千人前後の町であり、日本の漁船も多く入港し、しばしば日本人も街角で見かける。イスア地域はヌークから150kmほど離れており、ヌークからヘリコプターをチャーターして行くしか方法はない。氷河で削られた2,000m級の山々が連なるゴッサブ・フィヨルド(写真1)の中を北東に約1時間かけて飛ぶとイスア地域に到着する(第1図)。

著者は、幸いにして、科学研究費(海外)の研究補助金をいただいていた。それと合わせて、コペンハーゲン大学・地質博物館館長ローシング博士の協力を得て、現地の調査が可能になった。既に2002年と2003年の夏を、この地で過ごしてきている。以下、イスアおよびその周辺地域の代表的地質とそこを舞台にした論争を紹介する。

1) 東北大学大学院理学研究科：
〒980-8578 仙台市青葉区荒巻字青葉

キーワード：グリーンランド、イスア、枕状溶岩、初期地球、縞状鉄鉱層



第2図 イスア地域の地質図.

2. 最古の海洋の証拠

イスア地域の岩石は38億年前の海底に噴出した溶岩と堆積岩からなる(第2図)。さらに37億年前にはトータル岩(現在では変成されアミツオク片麻岩と呼ばれている)の貫入があるので周辺の岩石は熱変成を被っている可能性がある。その後の広域変成作用でほとんどの岩石は角閃岩相からグラ



写真2 イスア地域西部のキャンプ地と食料を運搬するヘリコプター。



写真3 メディアの前で枕状溶岩の説明をするローシング博士。

ニュライト相の高変成を受けており、初生的組織を失っている。イスア地域では、結晶片岩化した溶岩が最も普遍的に見られ、ガーベンシーファーという特殊な名前と呼ばれている。しかし、結晶片岩化を免れ、38億年前の岩石の「姿」を残すものも存在し、枕状溶岩の組織を残した露頭が複数箇所で見られる(口絵4)。

枕状溶岩はマグマが海底に噴出し形成される。



写真4 イスア地域最東端、縞状鉄鉱層が作る山、アイアンマウンテン。この山の東と北の端は氷河に直接する。



写真5 アイアンマウンテン頂上。写真にはホワイトハウス博士と中澤博士が写る。

イスアの枕状溶岩の周辺部には急冷層も見られる。こうした枕状溶岩は38億年前に海洋が存在していた証拠と考えられている。水が水蒸気でなく液体として存在した事は、38億年前頃までに地球表層が十分冷えていた事を示し、地球表層の冷却史を考える上での制約を与えている。38億年前の地球表層に海洋が存在したことは、ニュース性が高く、現地地質に最も詳しいローシング博士は毎年のようにBBCやNHKなどの各国メディアからインタビューを受けている(写真3)。

3. 縞状鉄鉱層

1980年代までの地質調査で、イスア地域には、海洋性の堆積物が多量に存在すると考えられていた。こうした堆積岩の存在も38億年前に海洋が存在していた証拠と解釈されていた。しかし、その後



写真6 イスア地域東部に見られる礫岩。

の調査により、堆積岩と思われた地層は広域的な変形作用で生じた片理の発達した火山岩であり、イスア地域での堆積岩の占める比率は極めて低いことが解かった。現在の地質図上で堆積岩と分類されているものに、縞状鉄鉱層(BIF, Banded Iron Formation, 写真4, 5)、礫岩層(写真6)、タービダイト層(口絵5)がある。

先カンブリア紀初期には多量の縞状鉄鉱層が形成された。鉄に富んだ層とシリカに富んだ層が数mm～数cmのスケールで交互に現れるのが縞状鉄鉱層の大きな特徴である。イスア地域にも縞状鉄鉱層が出現する。38億年前の海洋にも多量の鉄とシリカが溶在していたことを示す。イスア地域の中で縞状鉄鉱層が顕著に表れるのは、アイアンマウンテンと呼ばれる地域である(第2図)。アイアンマウンテンはイスアの最東端周辺に位置し、直ぐ横には大陸氷河が迫っている(写真4)。かつて、民間鉱山会社リオ・ティントが探鉱目的で幾つかのボーリングを行った。1kmもある氷河の上からボーリングを行い岩石に達するまで掘り抜いた。現在でも氷河の上にはボーリングのときのパイプと探鉱小屋が残されている。

イスア地域の縞状鉄鉱層中の鉄は、磁鉄鉱(Fe_3O_4)か菱鉄鉱(FeCO_3)として産する。初生的には赤鉄鉱(Fe_2O_3)か菱鉄鉱であったと考えられている。シリカに富んだ層はアルミニウム含有量が高く、角閃石が多量に形成されている。イスアの縞状鉄鉱層中の角閃石量は、他の時代の縞状鉄鉱層に比べ圧倒的に多い。恐らく、縞状鉄鉱層形成時に鉄と共に粘土成分が多く堆積したのか、変成作用でアルミニウムが多量に縞状鉄鉱層に付け加わ



写真7 著しく炭酸塩岩化した珪長質な火成岩。石英脈がくびれて一見、礫岩のようにも見える。

ったためであろう。火山活動が活発で、陸上から凝灰岩が次々ともたらされる環境を考えると、角閃石を作る成分が縞状鉄鉱層堆積場に多量にもたらされてもおかしくはない。

東部のアイアンマウンテンから西部地域にかけて見られる縞状鉄鉱層は、多くの場合、激しく褶曲している(口絵6)。アメリカック・ダイクと呼ばれる貫入岩(32~30億年の年代)が縞状鉄鉱層に選択的に貫入している様子も見られる。アメリカックとは、イスアから数百kmほど南下した所にある地域名である。アメリカックを模式地とし、数百kmにわたり広域的に周辺岩石に貫入した苦鉄質岩を、一括してアメリカック・ダイクと呼ぶ。アメリカック・ダイクから放出された硫黄成分と縞状鉄鉱層中の鉄が反応し、黄鉄鉱を形成し、Sulfidic Banded Iron Formationと記載されている場合もあるが、変成時の産物であろう。

4. 礫岩の地層

イスア地域には「礫岩」と分類される地層が分布する(写真6)。石英を主体にした礫から構成されている。これらは一般に沖積平野に堆積した礫と解釈されており、38億年前の地球表層に水が存在した証拠と考える研究者もいる(Fedo, 2000)。この礫岩がきれいに見える露頭は大きなブロックごと削り取られ現在も神奈川県立博物館に展示されていると聞く。

イスア地域にはこうした礫岩に類似した地層があったところに現れる(写真7)。実際、写真7で示し



写真8 アキリア島全景(矢印)。グリーンランド本島上空から撮影。

た地層を走向方向に追跡すると「礫」が完全に消え、珪長質の火成岩に変わってしまっている様子も観察される。礫岩が火成岩に漸移するとは不思議な話である。もともと火成岩であったところに石英の脈が走り、それが変形・変成時にポーフロブラストのように形を変えたのが「礫」のように見えたと解釈されている(Nutman *et al.*, 1983)。Komiyama *et al.* (2002)はこれをテクトニック メランジと考えている。イスア地域に本当に礫岩が存在するのか、今もって疑う研究者も多い。

5. 世界最古のタービダイト

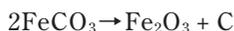
イスア地域には一箇所だけではあるが、タービダイト組織を示す露頭が存在する(口絵5)。数mたらずの露頭の中にタービダイト特有のボーマ・シークエンスが確認される。このタービダイトは明確な海洋堆積物であるゆえに、38億年前の海洋の証拠と考えられている。この露頭の岩石の中に細かなグラファイトの粒子が見られる。微粒グラファイトは特に粘土(現在は黒雲母)と密接に関わり産出している。その産状は粘土と有機炭素に富んだ現在の海洋堆積物そのものである。グラファイトの炭素同位体組成は、非常に軽い特徴的な値を示し、生物由来のものである事を示している(Rosing, 1999)。

口絵5以外にも、イスア地域にはいたるところにグラファイトを含んだ地層が分布する(Schidlowski, 2001; Ueno *et al.*, 2002)。イスア地域東部では、熱水変質脈の中にグラファイトが脈を作り産出することがある。菱鉄鉱を多く含有する縞状鉄鉱層の中



写真9 アキリア島からのグリーンランド本島の風景。アキリア島にはピートが厚く堆積している。

にもグラファイト粒子が見られる。変成時に



という反応が起こったためと考えられている。口絵5のタービダイト層中のグラファイトと異なり、脈や縞状鉄鉱層中に産するグラファイトは変成作用でできた無機的グラファイトと解釈されている。すなわち、イスア地域には、生命由来の炭素がある一方で、変成起源のグラファイトも多量に存在する(Narao-ka et al., 1996)。イスア地域に産するグラファイト＝最古の生命の痕跡と解釈されがちであるが、岩石が持つ意味を緻密に読み取らないと、正しい解は得られない(掛川, 2002)。

ローシング博士は、口絵5の露頭を1982年に発見している。当時は、イスアに堆積岩があるのは当たり前と考えられていて、タービダイト組織を示し、なおかつ生命の痕跡を示す露頭も、どこにでもあるものと考えられていたそうである。しかし、今となっては、この露頭が地球史を考える上でのランドマークとなり、それを最初に見つけたローシング博士の株は上がったわけである。

6. アキリア島

アキリア島はヌークから20kmほど南下した地域にある(写真8)。歩いて数時間あれば一周できる



写真10 イスア地域に頻繁にみられる雷鳥。グリーンランドの食卓に雷鳥は欠かせない。グリーンランドで生活する上で、猟の仕方のみならず、雷鳥のさばき方も重要な生活技術である。

小さな島である。ヌークからボートをチャーターして1時間半くらいで到着する。アキリア島周辺は鯨の生息地でもあり、観光客向けの鯨見物船などもしばしば出される。アキリア島からのグリーンランド本島の景色は、まさに絶景である(写真9)。アキリア島にはイスア地域よりも若干古い39億年前の地層が分布している。全体が片麻岩でありイスア地域の岩石よりも変成度は、かなり高い。こうした片麻岩の中に「縞状鉄鉱層」であったと思われる岩石がある。

この「縞状鉄鉱層」の中に数百ミクロンの大きさ

のアパタイト結晶が見いだされ、その中にグラファイトが見つまっている。二次イオン質量分析装置 (SIMS) を用いて、このグラファイトの炭素同位体組成を測定したところ、非常に軽い炭素同位体組成を有する事が解かった (Mojzsis *et al.*, 1996)。アパタイトと密接に関わっていることと炭素同位体組成から、このグラファイトが生物起源であり、世界最古の生命の痕跡としばらくの間、考えられていた。

しかし、その後、スウェーデンのフェド博士とホワイトハウス博士が、アキリア島の「縞状鉄鉱層」が実は縞状鉄鉱層でなく、もともと火成岩であったという論文を出した (Fedo and Whitehouse, 2002)。火成岩であった場合、生物由来と思われたアパタイトとグラファイトは無機のプロセスで形成されたものということになる。アキリア島の地層に世界最古の生命体の痕跡があったか、疑う研究者の方が多くなった。そのために、アキリア島でなく、イスア地域のタービダイト中のグラファイト (口絵5) が世界最古の生命の痕跡と考えらるようになった。

7. おわりに

過去にイスア地域から外国の研究者が多量に貴重な試料を持ち出したり、ダイナマイトで露頭を破壊したりしたことにグリーンランド人は敏感になっている。小さなアキリア島で多量に岩石を採集されてしまうと、ただのピートに覆われた岩の露出しない島になってしまう。グリーンランド政府は、そのためにアキリア島からの試料採集を完全禁止にしまった。グリーンランドには、雷鳥やカリブー、場合によってはシロクマなど北極圏特有の動物も見られる。コケモモなどの高山植物も豊富である。自然を愛する地質屋には無限の魅力を秘めた場所である。

謝辞: 日本学術審議会からの基盤研究経費B (課題

番号:14403012) のおかげでグリーンランドでの調査が可能になった。現地でのローシング博士 (コペンハーゲン大学) の協力がなければ調査は実現しなかったであろう。中沢弘基博士、三木尚史、大友陽子さんたちの現地での協力にも改めて謝意を表したい。

文 献

- Fedo, C.M. (2000) : Setting and origin for problematic rocks from the >3.7 Ga Isua Greenstone Belt, southern west Greenland: Earth's oldest coarse elastic sediments. *Prec. Res.* 101, 69-78.
- Fedo, C.M. and Whitehouse, M.J. (2002) : Metasomatic origin of quartz-pyroxene rock, Akilia, Greenland, and implications for Earth's earliest life. *Science*, 296, 1448-1452.
- 掛川 武 (2002) : 最古岩石が秘める生命起源へのヒント. *化学*, 58, 30-31.
- Komiya, T., Hayashi, M., Maruyama, S. and Yurimoto, H. (2002) : Intermediate-P/T type Archean metamorphism of the Isua supracrustal belt: Implications for secular change of geothermal gradients at subduction zones and for archaic plate tectonics. *Amer. J. Sci.*, 302, 806-826.
- Mojzsis, S.J., Arrhenius, G., Mckeegan, K.D., Harrison, T.M., Nutman, A.P. and Friend, C.R.L. (1996) : Evidence for life on Earth beore 3,800 Million years ago. *Nature*, 384, 55-59.
- Naraoka, H., Ohtake, M., Maruyama, S. and Ohmoto, H. (1996) : Non-biogenic graphite in 3.8-Ga metamorphic rocks from the Isua district, Greenland. *Chem. Geol.*, 133, 251-260.
- Nutman, A.P., Bridgwater, D., Dimroth, E., Gill, R.C.O. and Rosing, M. (1983) : Early (3700 Ma) Archaean rocks of the Isua supracrustal belt and adjacent gneisses. *Rep. Greenlands geol. Unders.* 112, 5-22.
- Rosing, M.T. (1999) : ^{13}C -depleted carbon microparticles in >3700-Ma sea-floor sedimentary rocks from west Greenland. *Science*, 283, 674-676.
- Schidlowski, M. (2001) : Carbon isotopes as biogeochemical recorders of life over 3.8Ga of Earth history: evolution of a concept. *Prec. Res.*, 106, 117-134.
- Ueno, Y., Yurimoto, H., Yoshioka, H., Komiya, T. and Maruyama, S. (2002) : Ion microprobe analysis of graphite from ca. 3.8Ga metasediments, Isua supracrustal belt, West Greenland: Relationship between metamorphism and carbon isotopic composition. *Geochim. Cosmo. Acta.*, 66, 1257-1268.

KAKEGAWA Takeshi (2004) : Image of the early Earth recorded in the Isua rocks, Greenland.

<受付: 2003年12月11日>