

世界最古の付加体

グリーンランド, イスア地域の地質

—38億年前のプレートテクトニクス—

小宮 剛¹⁾・能田 成²⁾・丸山茂徳¹⁾・林 衛³⁾

1. はじめに

1965年に Wilson によって提案されたプレートテクトニクスは, 1968年には地球物理学者によって体系化され, 地球表層のテクトニクスの理解に大きな貢献をした。しかし, プレート動かす原動力の解明など, プレートテクトニクスの根幹にかかわる重要な問題は判然としないままであった。その後, アセノスフェアやさらに深部の核についての情報が集まり始めるにつれて, プレートテクトニクスは, 核や下部マントルまでを含めたテクトニクス, すなわち“全地球テクトニクス”の体系の一部として位置づけられるようになってきた (Maruyama et al., 1994)。全地球テクトニクスの立場では, 液体である外核の流動や下部マントルの上下方向の超巨大ブリュームの運動, さらに地球表層での水平運動を主体とするプレートテクトニクスが全体として一つの系をなして相互作用をしていると考えるのである。この全地球テクトニクスの解明は, 最近の固体地球科学の主要テーマになっている。

一方, 1968年のアポロ宇宙船による月の地質調査に始まる太陽系惑星や衛星の地質学的な研究は, 地球の起源とその進化に対する考え方に新しい流れを生みだした。そして, 初期地球は深さ2000 kmを越えるマグマの海で覆われていたとする考えが主流を占めるようになった。もしマグマオーシャンが存在したとすると, マグマの海が固結した後, 何時からプレートテクトニクスが始まったのか, それは

時代とともにどのように変化してきたか, また, 現在よりもはるかに高温であった太古代以前では剛体的なプレートは存在しなかったのではないかと, といった重要な問題が提起され, 太古代(40-25億年前)と呼ばれる時代に形成された造山帯の研究に世界の注目が集まるようになった。以上の二つの課題, すなわち, 全地球テクトニクスと初期地球の総合的な研究は, 90年代後半の固体地球科学の中心的な課題となるであろう。しかしながら, これまでのこの分野(特に地球初期の状態)の研究は, その当時の状況を直接物語る物証が存在しないため, 多くの仮定を含む計算機実験に負うところが多かった。

著者達は1990年以来地球初期の状態を直接示す物証を探すために, 世界の主要な太古代造山帯の一つであるグリーンランド南西部の調査を行ってきた。この地域の調査により少なくとも38億年前のテクトニクスを推定することが可能になった。

ここでは, 主にイスア表成岩(火山岩や堆積岩を起源とする岩石)帯北東部に発見された38億年前の付加体の地質構造について, またそれと顕生代の付加体との比較について述べる。なおグリーンランドイスア地域の野外調査は株式会社キューバス(代表:伊藤笙)の全面支持を受けて行われた。深く感謝したい。

2. グリーンランド南西部地域の地質研究史

グリーンランドの調査の歴史については,

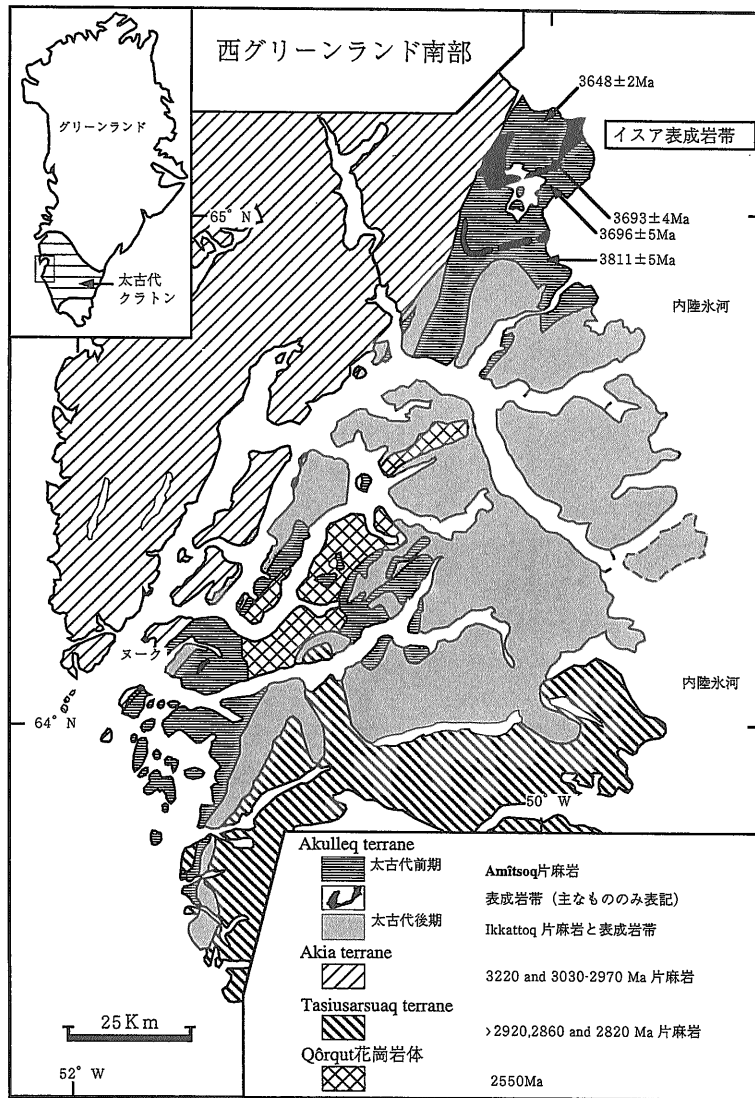
1) 東京工業大学理学部地球・惑星科学教室:

〒152 東京都目黒区大岡山2-12-1

2) 京都産業大学教養部地学教室

3) 〒154 東京都世田谷区上馬1-22-15

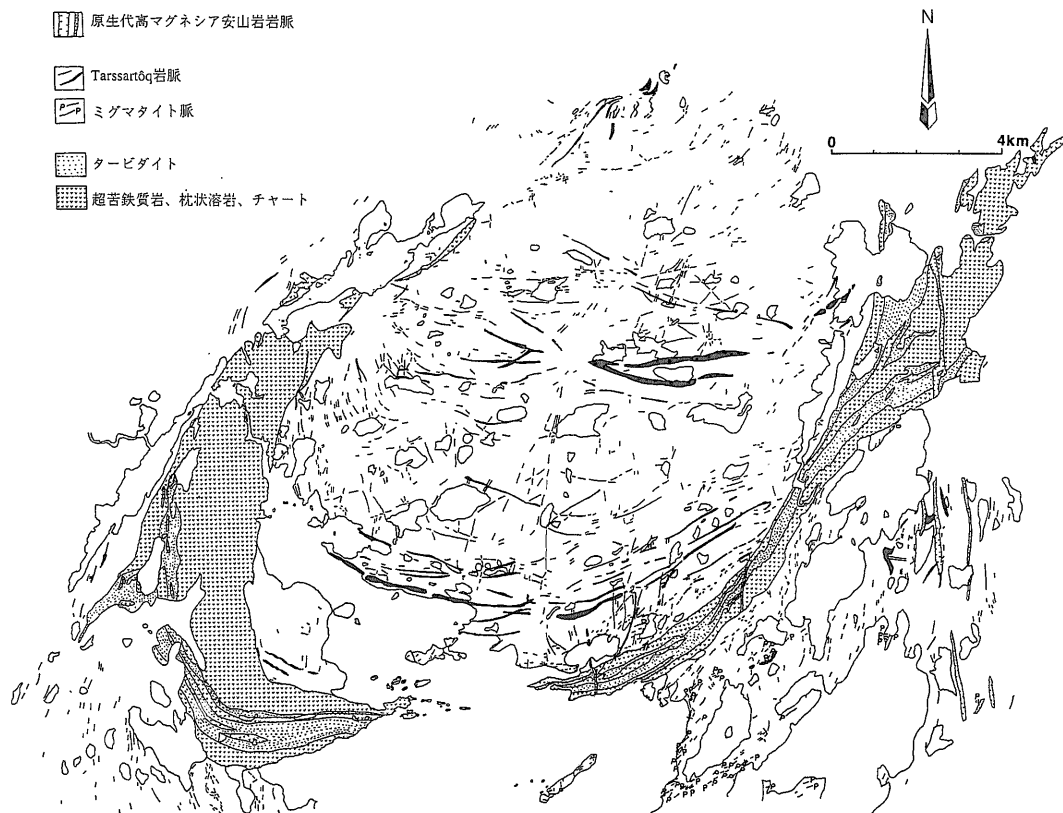
キーワード: 海洋プレート層序, デュープレックス構造, 付加体, プレートテクトニクス



第1図 西グリーンランド南部の太古代造山帯の地質区分図
年代・変成作用・岩相により三つの地質体に区分されている。図中の年代は SHIRIMP による片麻岩中の碎岩質のジルコンの年代。(McGregor et al. (1991), Nutman et al. (1993))

McGregor(1993)が詳しいのでそれを参照されたい。初期の調査はAllaart, Bridgwater, McGregor, Myers, Windleyなど、当時のデンマーク地質調査所の研究者によってなされた。調査の途中で、McGregorが担当したヌーク(グリーンランド語;デンマーク語ではゴッドホープ)地域の片麻岩(アミツオーク片麻岩)が約38億年の年代(Black et al., 1971)を示したので、世界最古の岩石が分布する地域として、この地域は世界中から注目を浴びることになった。一方、イヌア地域には変成作用の程度の

低い地域があり、そこでは礫岩などの原岩の構造がよく保存されていることが判明した(Allaart, 1975)。変成作用が38億年前であるとすると、原岩の形成はさらに古いはずなので、イヌアには38億年前よりも古い岩石(表成岩)が存在することになる。そういうわけでグリーンランド南西部は、さらに全世界の注目を浴びることになり、世界の主要な大学や研究所の研究者によって様々な分析がなされ、初期地球の生命、大気、海水、火成作用、堆積作用、鉱化作用、変形及び変成作用が議論され、当



第2図 イスア地域の地質図(Nutman, 1986)

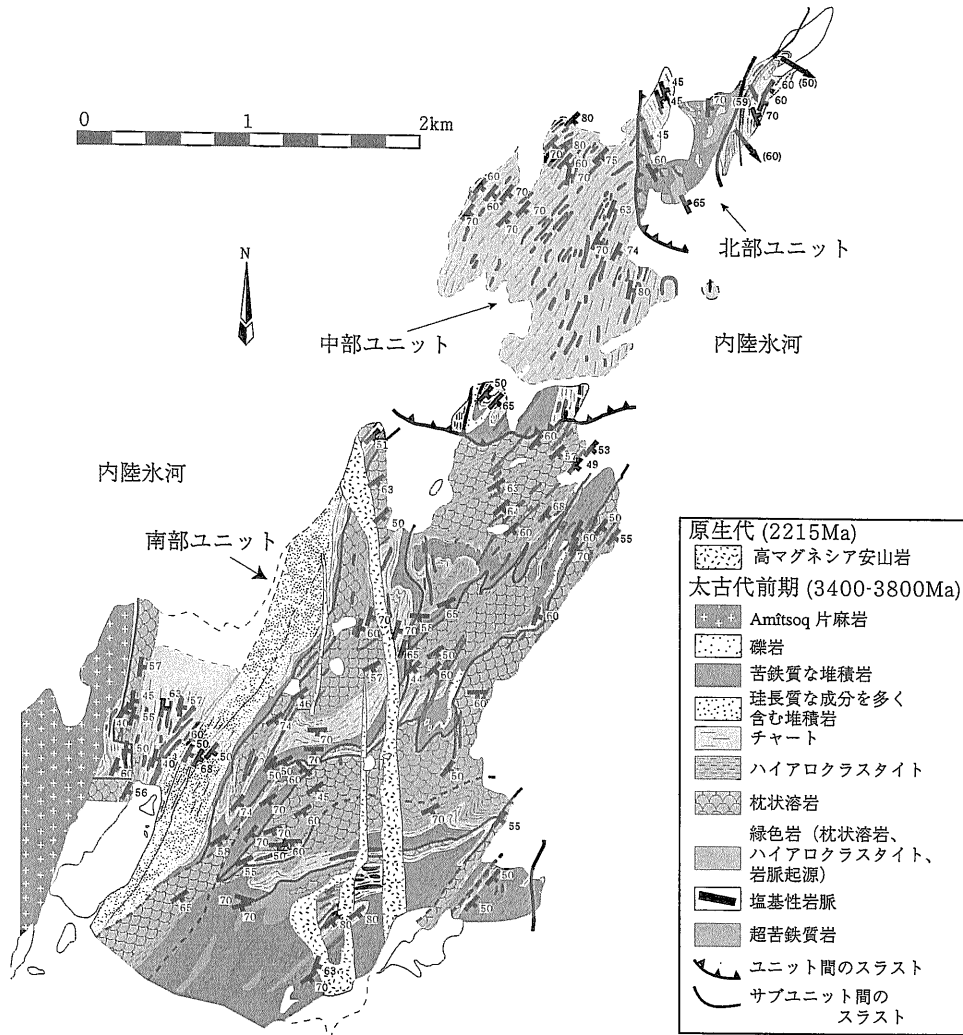
時の地球の状態について多くの情報をもたらした。

そのような断片的な発見とは別に、Allaert(1975)によるイスア地域の地質図(大変大雑把だが)の完成等、グリーンランド南西部の造山帯全体の概要が1970年代の終わり頃までに明らかになった。そして、この地域が片麻岩のような高変成度の岩石を主体とした350 km×150 km以上の規模を持つ広域的な変成帯であることが判明した。

Nutmanは1980年代前半からイスア地域を詳しく調査して、4万分の1地質図を完成させた(Nutman, 1986)。その頃、周辺地域でも次々と10万分の1地質図がグリーンランド地質調査所から発行された。これら一連の地質調査を通して集められた岩石の年代学的な研究がここ数年の間に急速に進み、それまではほぼ同時代に形成されたと考えられてきた片麻岩地帯が、年代、変成作用の違いによって幾つかの地域に区分されるようになった。すなわち、この地域は3つの広域変成帯が複合してできた複合変成帯なのである。オーストラリア国立大学

で開発された SHRIMP (Sensitive High Resolution Ion Microprobe)によるジルコンのU-Pb年代がこの地域で数多く測定される(Compston et al., 1986; McGregor et al., 1991; Nutman et al., 1993)に及んで、複合変成帯の性格は明確になってきた。McGregor et al. (1991)は、年代の違いのみならず、岩相組み合わせの違いをも考慮してグリーンランド南西部のテレーン区分を行ない、Akia terrane, Akulleq terrane, Tasiusarsuaq terraneの3つに区分した(第1図)。それらのおおのの説明については第二部に譲ることとし、ここではイスア地域がAkulleq terraneの最北部に存在し、かつ、この地域全体が衝突により形成されたと従来考えられてきたことを述べるにとどめる。

我々は1990年と1993年の二回にわたって同地域の地質調査と膨大な量と数の試料採取を行ない、初期地球のテクトニクスの学際的な研究を続けてきた。1990年の調査結果は1990年8月28-30日に東京大学本郷キャンパスで行なわれたシンポジウム“A



第3図 イスア表成岩帯北東部の原岩に基づく地質図(Komiya et al. (投稿中))

New View of the Earth-Multisphere Interaction Evolution & Rhythm”で報告された。報告の主な結論は38億年前に既に現在と同じようなプレートテクトニクスが機能していたことである。翌年の秋、アメリカ地質学会において正式に学会発表され (Maruyama et al., 1991), その内容は太古代のプレートテクトニクスの直接的な証拠として話題を呼んだ (Kerr, 1991)。その後、付加体としてのデュープレックス構造と海洋プレート層序の復元の精密な地質調査のために1993年の夏に我々は再びイスア地域を訪れ、1:5000の縮尺の原岩層序地質図の作製を完了することができた。これまでに採取した岩石数は約2500個、約15トンに達する。研究は多方面

にわたり、現在なお進行中であるが、現在までに我々が得た知見をもとに、38億年前の地球のテクトニクスについての描像を紹介するのがこの解説記事の目的である。

3. イスア地域の地質

3.1 はじめに

イスア地域は Akulleq terrane の北の縁に位置し、長径25 km, 短径13 km の卵型の擬ドーム状構造によって特徴付けられる地域である (第2図)。この構造は中心部のアミツオーク片麻岩体とその周りのアミツオーク片麻岩体の間に表成岩が帯状に分



写真1 枕状溶岩(右側表面がなめらかな部分)からハイアロクラスタイト(表面が風化し粗くなっている部分)、炭酸塩岩(白と黒のあいだ)を経てチャート(左側の白)へ続く一連の海洋プレート層序。さらにこの上位では縞状鉄鉱層を含むチャート、陸源性の堆積岩と続く。またハイアロクラスタイトは二つに分けられ、上側のハイアロクラスタイトは二次移動して作られたものである。ホースⅢ-2。

布する為に生じた見かけのものである。卵型構造の東側と西側の表成岩帯は、ともに東に傾斜するので、ドーム状の構造があるのではない。実際は一連東傾斜の構造が Akulleq terrane 西縁の右横ずれ断層によって、断層沿いに強く変形を被ったために生じた二次的なものである。

イスア地域は礫岩などからなる世界最古の地質体が露出することで有名であるが、これまでこの地域の地質図は変成岩分布図として塗色されてきた。つまり、原岩の種類が分かる場合があるとはいっても、この地域は角閃岩相の変成作用を受けた変成帯なので、我々が調査研究に入るまでは原岩の種類に基づいた地質図が作られたことはなかった。次回に詳細を解説するが、この地域の広域変成作用は北東端で最も低く緑色片岩相であり、南部あるいは西部に向かって上昇して中部角閃岩相にまで達する(Hayashi 1994)。さすがに変成度の最も高い部分では原岩の構造を見いだすことは難しいが、変成度の低いところでは原岩の構造をそのまま残しており、丹念に調べると、かなり正確に原岩を推定することができる。原岩で区分すると、この帯は超苦鉄質岩石、はんれい岩、塩基性火山岩、チャート、縞状鉄鉱層、砂岩、泥岩、礫岩、酸性火山岩、炭酸塩岩などで構成され、それらは約35億年前(Nutman, 私信)と22億年前に活動した高マグネシア安山岩の

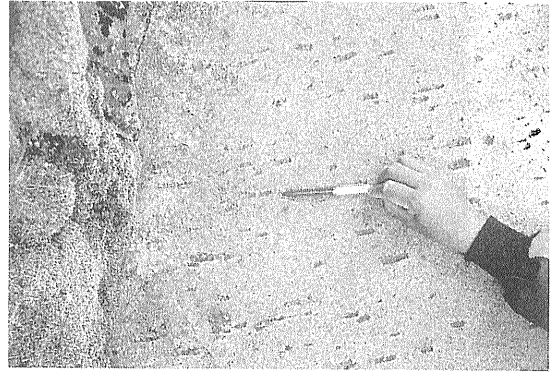


写真2 海洋プレート層序の最下部のカンラン岩。輝石の大きな斑晶が配列している。イスア表成岩帯南部。

岩脈の貫入を受けている。35億年前のものは変成変形作用の程度が弱く、一方22億年前のものは変成変形作用を殆ど受けていない(Nutman et al., in press)。

3.2 地質と地質構造の概要

第3図には93年の調査で作られたイスア表成岩帯北東部地域における地質図を示す。この図に示されているように、この地域は2本の東傾斜から北傾斜の低角断層によって大きく三つの地域に分けられる。それら三つの地域を北から、北部ユニット、中部ユニット、南部ユニットと名付けることにする。北部ユニットは、主に枕状溶岩やハイアロクラスタイト等の塩基性岩、チャートや縞状鉄鉱層、泥質岩で構成されている。北部ユニットの西側半分は、環太平洋造山帯の一部で見られるような典型的なメランジュ構造を示す。この部分では泥質岩のマトリックスのなかに15個の緑色岩体が点在し、ときにはチャート層もブロックとして含まれる。北部ユニットと中部ユニットの境界は、東傾斜20~30°の数mから数十m幅の南北走向の断層帯である。このメランジュ構造の発達は二つのユニットを断層接触させた断層運動によるのかもしれない。

中部ユニットは、南北走向をもつチャートが分布面積の約90%を占めている。このユニットの南側の境界は東西走向をもつ北傾斜の低角断層で南部ユニットと接している。中部ユニットは、北側はほとんどがチャートからなるが、南側の境界付近では、珩長質な砂岩、泥岩、石灰質の砂質頁岩を伴う苦鉄質なタービダイトも存在し、その中には少量だが礫



写真3 枕状溶岩。中央海嶺で噴出したと考えられる。コア、リム、マトリックスの構造が良好に保存されている。リムの部分は白く見える。形状は扁平だがこれはもともとの構造なのかもしれない。露頭の位置：ホースII-2。

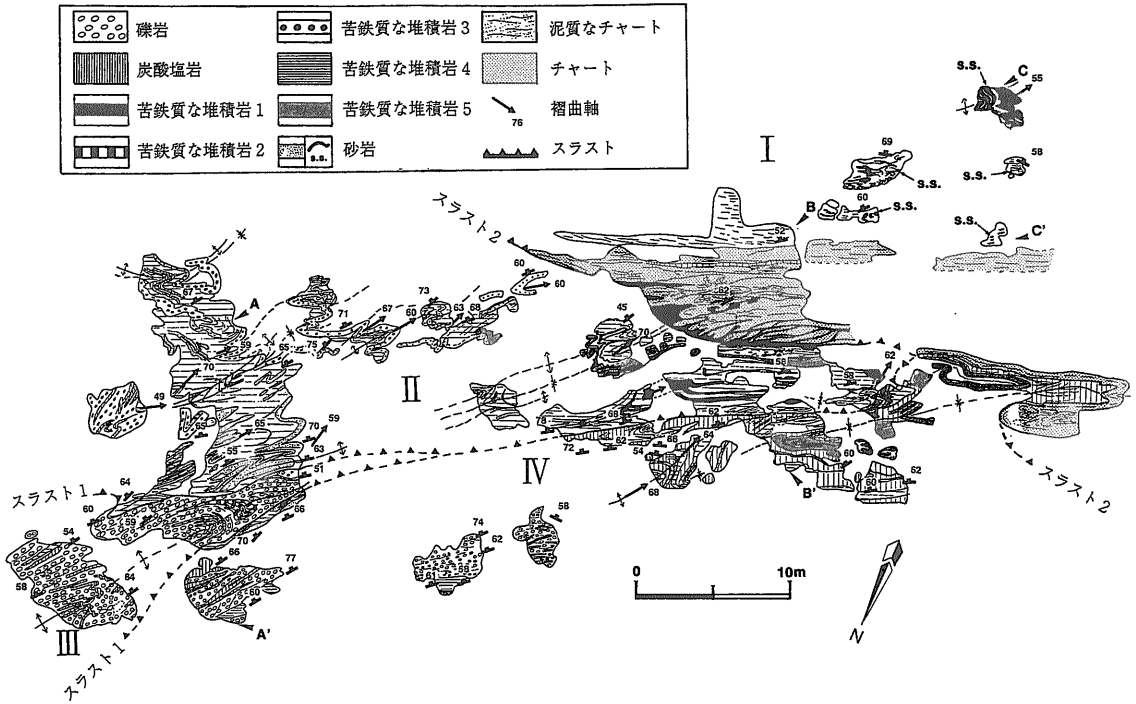
岩も存在する。このユニットには極めて多くの岩脈もしくは、シルが存在しその数は確認したものだけでも110本に達する。その内の二本には数cm径に達する斜長石巨晶(捕獲斑晶?)が含まれるので、これらの岩脈が貫入した場所のさらに地下深部には大陸地殻が存在していたと考えられてきた。ただし、現在までにこれらの岩脈の放射年代値は測定されたことはない。その内の一本は中部ユニットと南部ユニットの境界断層をまたいで貫入していることから、それらのユニットが断層で接触後にこの岩脈の貫入があり、さらにその後で角閃岩相の変成作用があったと考えられる。

南部ユニットは、我々が作成した地質図の大部分を占め、主に、枕状溶岩やハイアロクラスタイト等の海洋地殻の基盤をなす塩基性岩、チャート、一部珪長質な岩石を含むが主として苦鉄質なタービダイトなどから構成される。その他、板状貫入岩複合岩体と思われるドレライト質の岩脈、タービダイト層中に存在する礫岩、超苦鉄質岩石等も存在する。南部ユニットでは、枕状溶岩層とその上位に整合的に堆積するチャート層、さらにその上位を覆う苦鉄質な堆積岩層をセットとした地質単位が、層理面に平行な断層によって何回も繰り返して積み重なった構

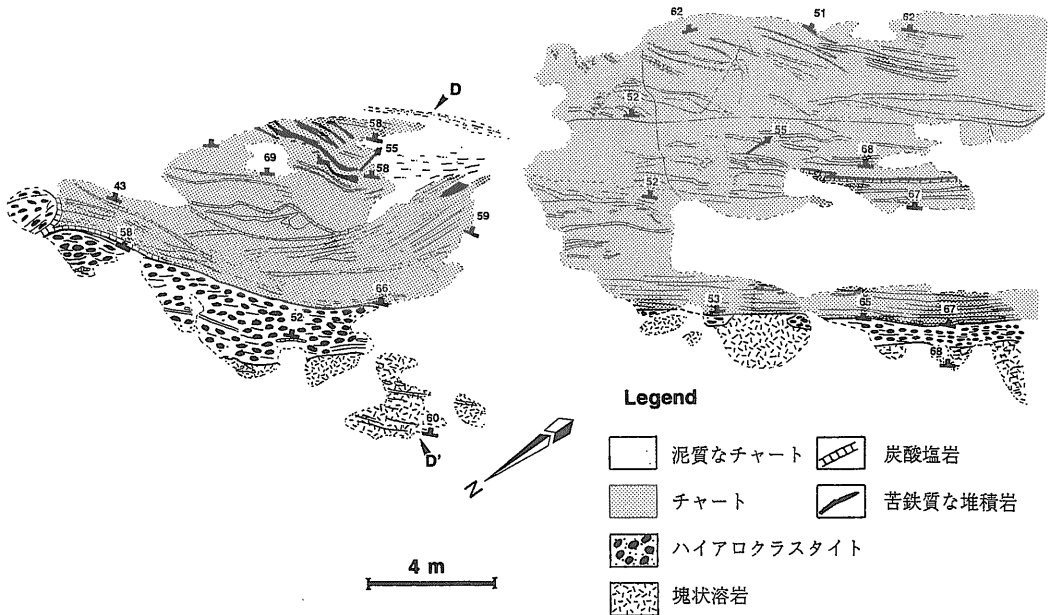


写真4 チャートの律互層。右側が下位。イスア北東端近くの山頂から南側を望む。この露頭から38億年前に地球に落下した隕石片が東京都立大学海老原グループによって確認された。遠く右側に見える灰色の露頭はイスア表成岩帯に囲まれた卵型のアミツオーク型麻岩。ホースIII-1。

造を持っている。チャート層とその上位の堆積岩層は複雑な褶曲を繰り返しているので、本来の層序とその厚さを正確に測定するには、鍵層の存在と良好な露出状態が不可欠である。南部ユニットのチャートは縞状鉄鉱層を含むタイプ、白いSiO₂のみのタイプ、数mm-数cmほどの磁鉄鉱とチャートが互層する白/青互層タイプ、苦鉄質な薄層(1-2mm)凝灰岩と互層する白/緑互層タイプ、泥質チャート、炭酸塩の葉脈を含む白/灰互層タイプの6種類に分類できた。それらの岩相の多様性を鍵として1m四方の方形を作りチャート層やその上位の堆積層の複雑な褶曲の解析を行なって(第4図a, b)本来の層序を測定した。第4図にはその一例を参考を示す。南北断面図(第4図c)に明瞭に示されているように、層理面に平行に発達した3本の断層によって区切られた四つのホース(horse; スラストによって完全に囲まれた岩体を意味し、ここではデュープレックス構造中の断層で境された各々のサブユニットをさす)がある。例えばホースIの中では層序の下位より層状チャート、半遠洋性堆積物、砂岩/泥岩互層の整合的な積み重なりを観察することができる。このユニットの見かけ下位のホースIIの内部ではそのような砂岩/泥岩互層の下位に斜交葉理の発達した苦鉄質成分に富む砂岩層が増加する。苦鉄質成分に富む砂岩層はホースIVに再び見られ、そこでは層序学的上位に向かって炭酸塩岩と互層するようになり、その最上位に礫岩層が発達する。ホースIII

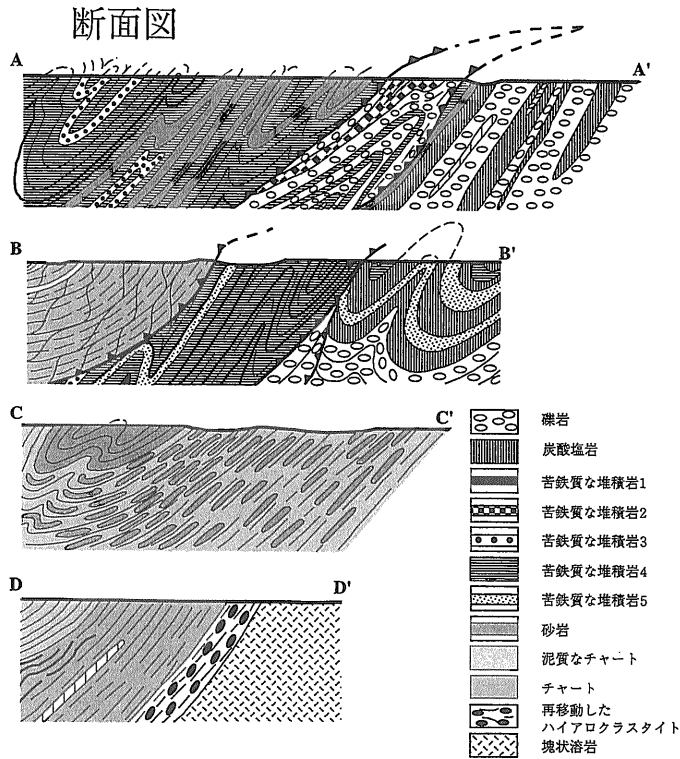


第4図 褶曲した地層を復元して海洋プレート層序を復元する過程
4a: サブユニットIV₂内の露頭のスケッチ①



4b: サブユニットIV₂内の露頭のスケッチ②

図5aと図5bの露頭とは直接接していないが、鍵層(半遠洋性堆積物、チャート)の解析から図5aの下位に図5bが連続する。

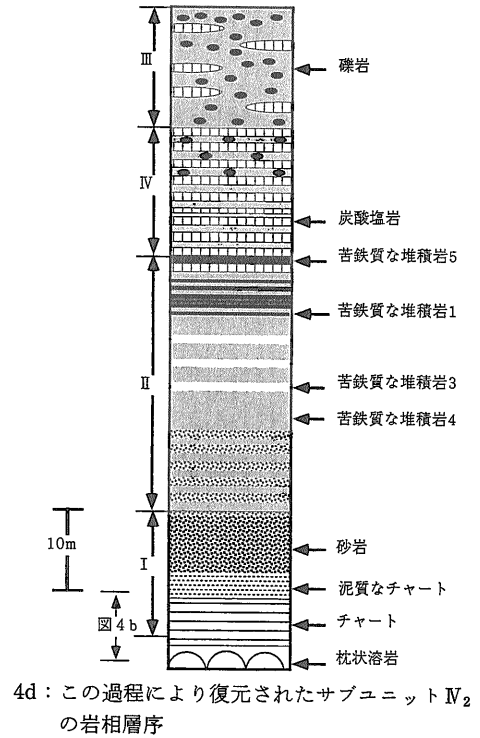


4c : サブユニットN₂の断面図

は礫岩層だけで構成されている。このようにして、第4図dに示すような海洋プレート層序を復元することができる。

3.3 付加体起源としての南部ユニット

今回の調査では地層の上下を判定しつつ褶曲した地層を丹念に追跡して、もとの層序を上述のようにして復元し、それぞれの地層の厚さを巻尺によって正確に測定した。また層理面と平行に発達する断層を追跡すると、南部ユニットには14本のスラストがあることが判明した。それにより12個のサブユニット(ホース)を定義することができる。地層の走向はそれぞれのホースごとに異なるが、基本的には北東—南西走向である。褶曲構造や断層による欠損を復元しながら、これら12個のホースの柱状図を比較した。それぞれのホース間で各層の厚さや、特殊な岩石(礫岩、縞状鉄鉱層、Soapstone等)の有無等の特徴はあるものの、どのホースにおいても次に示す二つの共通の特徴が見られた。それらの柱状図の代表例としてホースⅢ-2の柱状図を第5図に示

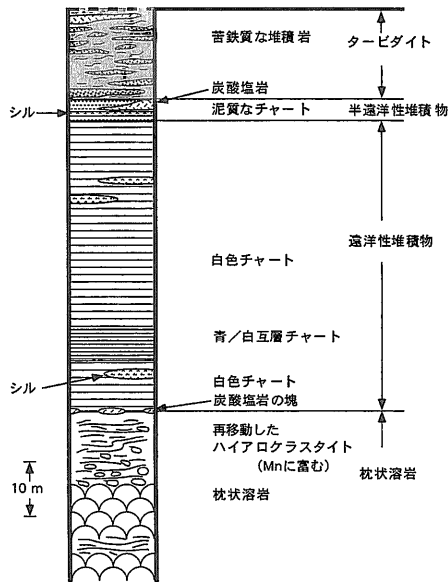


4d : この過程により復元されたサブユニットIV₂の岩相層序

す。岩相層序は下位から、枕状構造を見事に保存した玄武岩、ハイアロクラスタイト層、Fe-Mnに富む二次移動したハイアロクラスタイト、時には50m以上の厚さにもなるチャート層と変わっていき、最上位の苦鉄質な堆積物を主成分とするタービダイトに至る。ハイアロクラスタイトとチャート層の間には10cm厚以下の炭酸塩岩の塊がしばしば出現する。

このような岩相層序の特徴の一つは、苦鉄質な堆積岩が、しばしば陸源性碎屑物質と思われる石英・長石質な物質を含む、あるいはそれらの物質と互層するのに対して、枕状溶岩層やチャート/縞状鉄鉱層中にはそれらの物質が一切含まれていないことである。このようにして復元された層序はまぎれもなく、日本列島などの顕生代造山帯の付加体中から見いだされる海洋プレート層序にはかならない。

求められた海洋プレート層序をホース毎に比較すると12個のホースは8個のグループに分類される(第6図)。例えばほとんど同じ層序を持つことから、



サブユニット IV の岩相層序

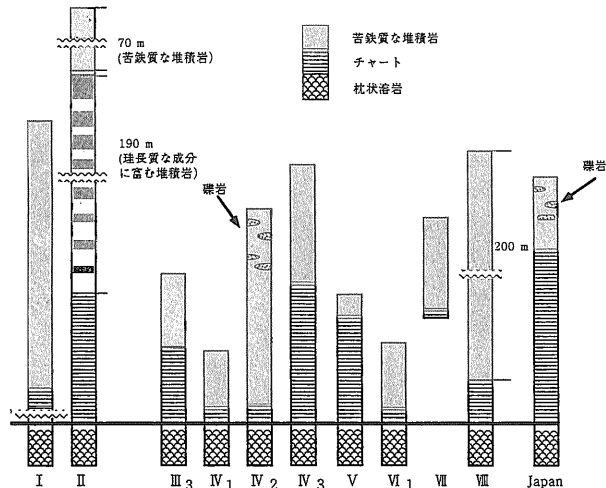
第5図 復元された海洋プレート層序の例



写真5 礫岩。海洋プレート層序最上部に位置する。珪岩だけでなく様々な岩種の礫が含まれ大きさもあまり分別されていない。II-2。

ホース IV のグループには IV_1 , IV_2 と IV_3 の三つのホースからなることがわかる。

南部ユニットの地質構造の特徴は、さきに述べたような海洋プレート層序をもつ12個のサブユニットが層理面と平行なスラストを介して積み重なった覆瓦状構造にある。北部地域の一部を除くと、地層の一般的な傾斜は約40~50度東傾斜である。各ホース内部の層序は正常であり、局所的な場所を除いて逆転していない。同じ層序をもつホース、例えば IV に属する三個のホースは南側にアンダースラストしている。また各ホースのチャート層は南側に収斂



第6図 海洋プレート層序一覧

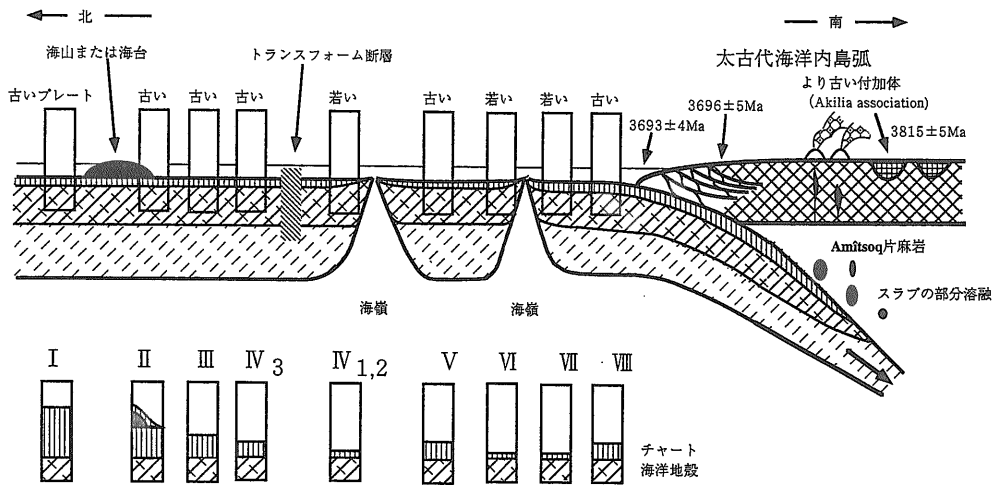
するという一般的な傾向をもっている。このような地質構造はデュプレックス構造そのものである。

この南部ユニットに最も良好な形で保存されているデュプレックス構造と海洋プレート層序という二つの特徴から、イスラ地域は典型的な付加体起源であると言える。北部ユニットや中部ユニットも同様に、その構造、構成物質および復元された海洋プレート層序から、南部ユニットと同様に明らかに付加体起源である。

3.4 付加体形成史と形成場、沈み込み方向

以下では南部ユニットの内部構造から解析された付加体形成史、海洋プレートの起源、およびプレートの沈み込んだ方向と造山帯の成長方向について議論しよう。この地域の地層の傾斜が東傾斜約40~50°であること、各ホースの層序は逆転していないこと、およびデュプレックスが南に収斂することから、一連の付加体は東側が古く、西側に向かって新しくなること、および同じグループに属するホースでは南側が古く北側ほど若いことの二点が導かれる。これらのことから付加体の発達史を模式的に示すと第7図のようになる。第7図は約38億年前のイスラ付加体ができた当時のプレート収束帯の南北断面図を示しており、海洋プレートは北から南に向かって沈み込む。付加の順序は番号の大きいものから小さいものへと進む。番号 VII と VI の間、および V と IV の間は極めて薄いチャート層を持つ海洋プレートが存在したと考えられ、その時には中央海嶺が沈

3.8-3.7Ga



第7図 グリーンランドイスア地域における約38億年前の付加体発達史. 付加体は南部から北部へ、あるいは東から西側へと発達した. 陸側に張り付いた付加体は数十万年以内に島弧マグマによって次々と貫入されて大陸地殻の一部になっていった.

み込んだ可能性がある. IV-3とIV-1,2の間で突然チャート層の厚さが変化するので、この時期にはトランスフォーム断層の沈み込みがあったのかもしれない. ただし、このような考察においてはいったん形成された付加体の構造侵食はなかったと仮定しているの、トランスフォーム断層の沈み込みは必ずしも自明ではない.

イスア地域のデータに基づくと、付加体は南から北へと成長していったと考えられるから、グリーンランドで最古の付加体はアクレックテレーンの南東縁であると予測することができる. Nutman et al. (1993)によってまとめられたSHRIMPデータによるとTTG(トータル岩, トロニウム岩, 花崗閃緑岩)のジルコン年代は南部ほど古い傾向をもっている. すなわち内陸氷河地域北部では3646 Maであるが南部では3811 Maへと古くなる. ラブラドル海岸地域では一部に3872 Maの年代を持つ岩石がある. これらはすべて花崗岩質岩石なので、それらに貫入された海洋プレート物質はさらに古い筈である. チャート層のさらに下位にある海洋地殻から3900 Maに及ぶ年代がこの地域から発見される可能性がある.

中央海嶺で生まれた海洋地殻はプレート収束帯である海溝に向かって徐々に移動するが海溝から遠く離れた地域では陸源の珪長質堆積物が届かないため

に層状チャートのみが堆積する環境がしばらく続く. しかしやがて海溝近傍に達すると島弧火山由来の酸性火山灰や苦鉄質な堆積物薄層と互層するようになり、ついには海溝に到達する. すると厚いタービダイト層に覆われるようになり、その後で付加体として陸側プレートに付加する. そのような一連の海洋地殻が観察される中で、ホースIIだけは趣をやや異にしている. それは厚いチャート層の上にピクライト-コマチアイト質な火山岩層が累重しそれをさらに薄いチャート層が覆った後で半遠洋性堆積物からタービダイト層へと移化する層序を示すからである. チャート層に挟まれたそのような火山岩の産状は、顕生代の付加体の例から推測するとその起源が海山・海台・海膨などのhot-spot volcanismの産物であることを意味している.

これらの付加体はどのような造構場でできたのであろうか? 現在の地球上では付加体の多くは巨大な大陸の縁でできている. すなわち殆どのプレート収束帯は環太平洋地域とテーチス地域に発達する. また、その他に少量ではあるが海洋内島弧地域でも付加体はできつつある. 伊豆-マリアナ島弧がその例である. 前者の付加体構成物質の9割以上が巨大大陸を網目のように覆う巨大河川によって海溝へと運ばれる珪長質なタービダイトである. 一方、海洋内島弧の前弧に作られる付加体では、タービダイト



写真6 チャート中に併入した玄武岩シル。チャートは多くのシルや岩脈によって貫かれている。このようなマグマはプレート内火成活動によって生じたものである。イスラ表成岩帯北東部中部ユニット。

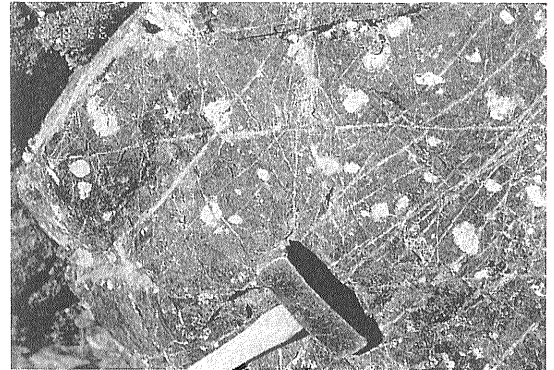


写真7 アメリカリーク岩脈。塩基性の岩脈のなかに斜長石の捕獲斑晶が斑点状に分布する。この捕獲斑晶の起源を大陸地殻に求める考えとマグマだまりでの結晶分化作用による斜長石の巨晶とする考えがある。イスラ表成岩帯北東部南部ユニット。

の量とその組成が著しく異なり、量は少なく組成はより火山性の物質に富んでいる。想像すれば自明であるが、海上にわずかに頭を出した未成熟島弧が侵食されて生じた少量の玄武岩質—安山岩質—流紋岩質な堆積物が海溝に運ばれて海洋プレート最上位に堆積する。そしてそれが沈み込み、付加体となって上盤側プレートにはり付く。最近マリアナ海溝で掘削されて明らかになった付加プリズムとその堆積物の組成はまさにその好例であった(Jones et al., 1992)。上に述べたイスラ地域の付加体を構成するタービダイトはイスラ付加体ができただ時の後背地には巨大な大陸が存在せず、現在のマリアナ弧のような海洋内島弧があったことを意味している。

低角の断層によって累重したイスラ付加体は南方から順次花崗岩質なマグマによって貫入された。あるいは場所によっては酸性火山岩によって不整合に覆われたことがタービダイト中に見られるデイサイトの巨礫から推測される。一部の地域では高マグネシア安山岩岩脈(ポニナイト岩脈?)によって貫入されている(Hall and Hughes, 1987)。

以上の議論の中では、チャート層が顕生代のものと同じく遠洋性堆積物であることが仮定されている。これは必ずしも自明のことではないので注意しておく必要がある。ただしチャート層の層準には陸源碎屑物を特徴づける長石の類が全く含まれていないので、チャート層の堆積場が陸から隔絶された空間であったことは明白である。

ここまでの議論では太古代付加体が顕生代付加体

と酷似していることが強調されてきたが、幾つかの相違点があるのもまた事実である。その一つはタービダイト層の鉱物(化学)組成である。例えば日本列島の付加体のそれは花崗岩質であり、野外では灰色(砂岩)と黒色(泥岩)の互層縞模様を呈するが、イスラの太古代付加体では灰色の薄層を挟むものもあるが主に緑色(塩基性)であることが多い。これは当時の地球表層には、花崗岩を基盤とするような大陸的な場がほとんど形成されていなかったために、花崗岩質堆積物が少なかったことによるのであろう。太古代造山帯は現在のマリアナ島弧のような海洋地域内島弧のような造構場にあったのであろう。もう一つの相違点は、顕生代の造山体は構成物質として9割以上が花崗岩質タービダイトであるのに対してイスラの付加体ではタービダイトが占める割合が1割程度であり、残りの9割は海洋地殻上部、チャート層および海山の破片である。その原因は海洋地殻の厚さが当時は現在の数倍(約20 km)もあり、海溝で沈み込む時に力学的弱面が地殻内部に発生することによるのであろう(丸山・磯崎, 1992)。

4. 39億年前の中央海嶺海洋地殻は玄武岩かコマチアイトか？

太古代にプレートテクトニクスが機能していたとしよう。太古代地球内部は現在よりもずっと高温であったはずだから、当時の中央海嶺で生じた火山岩は玄武岩ではなくてコマチアイト質火山岩であった

であろうと想像するのは自然である(例えば, Taka-hashi, 1990など). 当時のマントルが80%も溶ける程の高温ではなかったとしても, 当時の高温マントルの証拠は必ず何らかの形で火山岩の組成に反映しているはずである. 少なくとも現在の中央海嶺玄武岩とは違っていたであろう. さて, 実際はどうであろうか. イスア地域における野外の産状に基づいた緑色岩の分類, すなわち中央海嶺で生じる火山岩, 海山あるいは海台, 島弧火山岩, に対応させた系統的な地球化学的研究は現在進行中であるが, 我々のデータとイスア地域の従来の分析値から大局的な傾向を述べると以下ようになる.

中央海嶺で生じた火山岩は, Gill and Bridgwater (1979)と Nutman et al. (1984)による主成分元素, 微量元素, REEのパターンを参考にすると, ほとんどが低カリウムで鉄に富むソレアイトであり, 現在のMORB(中央海嶺玄武岩)とあまり変わらないといえる. 一方, 海山と思われる産状を示す火山岩はピクライト-コマチアイト質で酸性火山岩を伴っている. イスア地域にはさらに, 海洋地殻下部のはんれい岩質岩石やその下の海洋マントルを構成していたと思われる超苦鉄質岩石(写真2)が分布する(Dymek et al., 1988). はんれい岩質岩石は, 広域変成作用を受けていて主として角閃岩になっているが, 原岩の構造の規制による斜長石に富んだ層と苦鉄質鉱物に富んだ部分の互層を示すので結晶沈積岩と見なされる. 超苦鉄質岩は彼らによれば, 3回の変成作用によって再結晶していると思なされる. 最初のものはグリーンスピネル+斜方輝石(>700°C), 2回目のものはかんらん石+カミングトン閃石の安定な組み合わせによって特徴付けられ, 後者は角閃岩相の広域変成作用の時におきた. 3回目のものはその後で, X_{CO_2} の高い流体の存在下で蛇紋岩化作用を受けて炭酸塩岩の脈を生じたと思なされる. この海洋マントルは地球化学的証拠からイスア地域の緑色岩の原岩である玄武岩マグマの結晶沈積岩であると思われるが(Bridgwater et al., 1979), あるいはその下のテクトナイトであるかも知れない. いずれにせよ, 今後REEパターンなどをもちいて, 中央海嶺下のマントルという視点で解析される必要がある.

前節で述べたようにイスア表成岩帯は付加体であり, 我々の地質調査の結果, 海洋プレート層序が復

元された. さらに, 現在は断層によって小さく区切られた小岩体ではあるが海洋地殻下部やマントルを構成していたと見なされる岩石種まで認められる. これらの深成岩の産状と岩石学的な性質をあわせて考えることによって, イスア地域に世界最古の海洋地殻とマントル最上部の断面を復元することが期待できる.

5. ま と め

今回の調査によりイスア地域は38億年前の現存する世界最古の付加体であると考えられる証拠がいくつか認められた. それらのことからプレートテクトニクスが当時すでに機能しはじめていたと十分に推測できる. 当時のプレートテクトニクスは顕生代のそれときわめて似ているが(中央海嶺火成活動, 海洋プレート層序, 海洋島火成活動, 付加作用), いくつかの相違点も見られる(沈み込み帯の温度構造, 海洋プレートの厚さ). そのような相違点を比較することにより太古代のテクトニクスや環境がもっと容易に推察できるようになるだろう.

謝辞: 1990年の第一回目の夏の調査ではP. W. U. Appel(グリーンランド地質調査所), 増田俊明(静岡大), 乙藤洋一郎(神戸大), 三木雅子(当時・神戸大, 現・京都大), 萩谷宏(東大), 柴田知之(岡山大・地内研)諸氏に, そして, 93年の第二回目の調査ではP. W. U. Appelの他にS. Moorbath(オックスフォード大)諸氏に野外調査で協力していただいた. その後, 増田氏と萩谷氏はそれぞれ, 構造変形と岩石学の研究を, 乙藤氏と三木氏は古地磁気学の研究をされている.

佐藤興平氏は本誌への寄稿をすすめてくださり原稿を読んでくださった. また匿名の二人の査読者からも有益な御助言をいただいた. 以上の方々に深く感謝します.

文 献

- Allaart, J. H. (1975): Field mapping of the pre-3760 m. y. old upcrustal rocks of the Isukasia area, southern West Greenland. *Rapp. Grønlands geol. Unders.* 75, 53-56.
 Black, L. P., Gale, N. H., Moorbath, S., Pankhurst, R. J. and McGregor, V. R. (1971): Isotopic dating of very early Precambrian amphibolite facies gneisses from the Godthaab district, West Greenland, *Earth Planet. Sci., Lett.*, 12, 245-259.
 Bridgwater, D., Allaart, J. H., Baadsgaard, H., Collerson, K. D.,

- Ermanovics, I., Gorman, B. E., Griffin, W. L., Hanson, G., McGregor, V. R., Moorbath, S., Nutman, A. P., Taylor, P. N., Tveten, E. and Watson, J. (1979): International field work on Archean gneisses in the Godthabsfjord-Isua area, southern West Greenland., *Rapp. Grønlands geol. Unders.*, **95**, 66-71.
- Compston, W., Kinny, P. D., Williams, I. S. and Foster, J. (1986): The age and Pb loss behavior of zircons from the Isua supracrustal belt as determined by ion probe., *Earth Planet. Sci. Lett.*, **80**, 71-81.
- Dymek, R. F., Brothers, S. C. and Schiffries, C. M. (1988): Petrogenesis of ultramafic metamorphic rocks from the 3800 Ma Isua supracrustal belt, West Greenland., *J. Petrol.*, **29**, 1353-1397.
- Gill, R. C. O and Bridgwater, D. (1979): Early Archean basic magmatism in West Greenland: The geochemistry of the Ameralik dykes., *J. Petrol.*, **20**, 695-726.
- Hall, R. P. and Hughes, D. J. (1987): Noritic dykes of southern West Greenland: early Proterozoic boninitic magmatism., *Contributions Mineralogy Petrology* **97**, 169-182.
- Hayashi, M. (1994): The Archean metamorphic rocks and regional metamorphism of the Isua region, Greenland. (修論) 東京大学理学部.
- Kerr, R. A., (1991): Ancient rocks, rhythms in muds, a tispny Venus., *Science*, **254**, 802-803.
- 丸山茂徳・磯崎行雄(1992): 初期地球のテクトニクス. *科学*, **62**, 175-184.
- Maruyama, S., Masuda, T. and Appel, P. (1991): The oldest accretionary complex on the Earth, Isua, Greenland., *Geol. Soc. Am. Abst.*, A429-430.
- Maruyama, S., Kumazawa, M. and Kawakami, S (1994): Towards a new paradigm on the Earth's dynamics., *Geol. Soc. Japan*, **100**, 1-3.
- Maruyama, S., Komiya, T. and Appel, P. W. U. (1994): The oldest (3.8 Ga) accretionary complex of the world, Isua, Greenland., *EOS75*, 691 (abstr.).
- McGregor, V. R., Friend, C. R. L. and Nutman, A. P. (1991): The late Archean mobile belt through Godthabsfjord, southern West Greenland: a continent-continent collision zone?, *Bull. geol. Soc. Denmark*, **39**, 179-197.
- McGregor, V. R. (1993): Geological map of GREENLAND 1: 100000., *Grønlands Geologiske Undersogelse*.
- Nutman, A. P. (1984): Early Archean crustal evolution of the Isukasia area, southern West Greenland. In Krøer, A. & Greiling, E. (edit.) *Precambrian tectonics illustrated*, 79-93. Stuttgart: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung.
- Nutman, A. P. (1986): The early Archean to Proterozoic history of the Isukasia area, southern West Greenland., *Rapp. Grønlands geol. Unders.*, *Bull.*, **154**, 80pp.
- Nutman, A. P., Friend, C. R. L., Kinny, P. D., McGregor, V. R. (1993): Anatomy of an Early Archean gneiss complex: 3900 to 3600 Ma crustal evolution in southern West Greenland., *Geology*, **21**, 415-418.
- Nutman, A. P., Hagiya, H. and Maruyama, S.: SHRIMP U-Pb single zircon geochronology of a Proterozoic mafic dike, Isukasia, southern West Greenland., *Rapp. Grønlands geol. Unders.*, *Bull.*, in press.
- Takahashi, E. (1990): Speculation on the Archean mantle: missing link between komatiite and depleted peridotite., *Jour. Geophys. Res.*, **95**, 15941-15954.
-
- KOMIYA Tsuyoshi, NOUDA Susumu, MARUYAMA Shigenori and HAYASHI Mamoru (1995): The oldest accretionary complex, detailed field occurrence in the Isua area, southern West Greenland
—the 3.8 Ga plate tectonics on the Earth—
-

〈受付: 1995年4月17日〉