### 特集 「惑星地球の形成と進化」

### 初期地球のテクトニクスと マントルの進化

太田宏1、丸山茂徳1

#### 1. マントルの進化

地球の体積の約83%はマントルが占める. 地殻と 大気・海洋が占める割合は0.005%程度に過ぎない. 残りは核である. 従って地球を大雑把に捉えるなら ば地球はマントルと核の惑星であるといえよう.

地球中心部の温度は約6000℃に達するが宇宙空間は3Kである。中心から表面まで6400kmの間の6000℃に達する大きな垂直温度勾配が地球変動の原因である。地球の内部熱を宇宙空間に放出する為に様々な運動が起きる。マントルではマントル対流がそれに対応するが、上部マントルと下部マントルではその

様式が異なっている。下部マントルでは直径が3000kmに達する巨大なプリュームが主体をなし、上下方向の運動を行う。一方、上部マントルでは60-100km程度の厚さのプレートが水平運動をすることによってマントルは水平方向に中央海嶺から海溝まで移動する。

マントルは上昇すると減圧効果の為に部分熔融して玄武岩質マグマを生じる。マグマは固化して海洋地殻を作り、それがプレート表層の薄い蓋となる。その蓋がプレート沈み込みによって再び高温の地球内部に運び込まれると部分熔融して花崗岩マグマとなり上昇して大陸地殻を作る。大陸地殻は軽いので

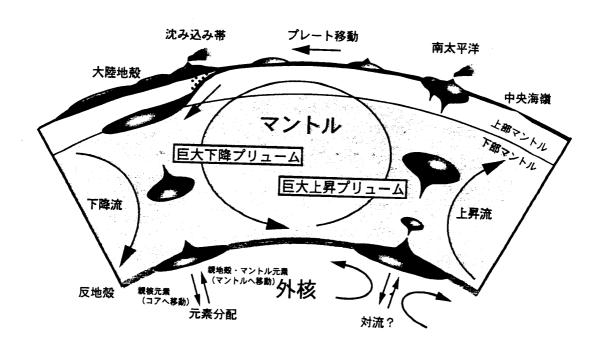


図1 地球の熱放出に伴うマントル対流、プレートテクトニクスとプリュームテクトニクスの対応関係、マントルの冷却に伴い親鉄元素は外核へ、親地殻・大気・海洋元素は表層へと放出される。

<sup>1</sup>東京工業大学理学部地球惑星科学科

再びマントルに沈み込むことはない. このような働き の為にマントル対流は結局大陸地殻を一方的に増加 させることになる.

マントルは約20%程度の地殼の成分(玄武岩成分)と 0.1%程度の大気海洋成分を含んでいる。後者は水、炭 酸ガス、メタンなどである、これらの成分はマグマが 部分熔融すると選択的に溶け出して、マグマの一部 となって地表へ移動して大気・海洋成分を増加させ る. 同じ様なことがマントルの底で起きているらし い、マントルのてっぺんには液体の水、すなわち海が あるが、マントルの底にも海がある。ただし、金属鉄 を主体とした金属の海である. 下降したマントル物 質の中の親鉄元素(鉄,ニッケル,白金族元素など)は 金属の海との境界層(厚さ約200-300km)を通して核へ と移動する. 代わりに外核の中の水素. 酸素. 硫黄. 炭素などの軽元素がマントルへ、熱とともに移動し て、それらは高温の上昇プリュームに含まれて地表 へと運ばれる. 結局、マントルのてっぺんと底に化学 組成上,異常な層(地殻と反地殻)を作ることになる(図 1). 別な言い方をするとマントルは誕生してから現在 まで一方的な冷却プロセスを通してせっせと組成分 化をして地殻と反地殻を増加させてきたことになる。 温度の変化も含めて、地球形成以降の組成の変化を マントルの進化と呼ぶ.

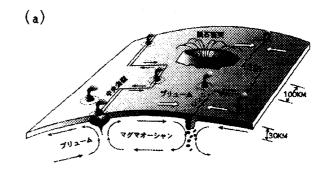
以上は一般論である.マントルが本当にそのような進化をしてきたのかどうかを,何らかの形で実証する必要がある.私たち地質学者は地球表層に残された古い岩石に記録された証拠を,野外地質学,岩石学,地球化学的手法を用いて解読して,マントルの進化を明らかにしてきた.その最近の成果について述べる.

### 2. 初期地球のテクトニクス

地球は約45.55億年前に誕生したと考えられている. しかしその歴史の最初の6億年間に生じた岩石は地球 上で今だ発見されていない.この謎に満ちた時代は 冥王代と呼ばれる.冥王代はその初期1000万年とそ の後のほぼ6億年を区別される必要があるだろう.惑 星の基本的な成層構造,すなわち核とマントルの分 離までのプロセスは惑星形成開始後1000万年以内に 終了したと言われている.そのプロセスの研究のまと めは我々の能力を超えているので扱わない.冥王代 の地球像は,(a)同時期の岩石の記録が残る月の研究 からの類推,特にマグマオーシャンの存在,(b)隕石, および(c)マントルかんらん岩と玄武岩の高温高圧実 験のデータに基づいた初期地球モデルの構築,の三 つから議論されてきた.

#### (1)冥王代初期の地球

冥王代初期の地球は厚いマグマオーシャンで覆 われていた,或は少なくとも表層の一部が原始海



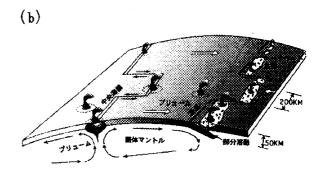


図2 冥王代初期(a)と冥王代後期及び太古代(b)の地球表層の想像図([1]に加筆). 冥王代前期ではマグマオーシャンの表層はコマチアイトの薄皮で覆われていた. 激しい隕石の爆撃があっただろう. 冥王代後期にはマグマオーシャンは固化してプレートテクトニクスが始まったのかもしれない.

洋と固体地球に覆われていたとしても、その内部には厚いマグマオーシャンの層が存在したと考える研究者が多い。この時期の地球では丁度、ハワイの溶岩湖の表層に見られる疑似プレートテクトニクスのような現象が起きていただろう。大気で冷却されたコマチアイト質溶岩はまるでプレートのように水平移動してマントル内部へ沈み込む(図2a)。ただしプレートテクトニクスと違う点は、上盤側プレートも沈み込むこと、及び島弧火成活動に対応する現象がないことである。その為に大陸地殻は生成しない。地球表層を覆う岩石はコマチアイトであった。その下にはマグマオーシャンがあった。

#### (2)冥王代後期の地球

内部のマグマオーシャンも固化して表層が原始 海洋に覆われた. その結果, プレートテクトニク スが始まった(図2b). 或いはそれでも地表は高温過 ぎて原始海洋は存在せず、現在の金星のようなプ リュームテクトニクスが機能していたのかもしれ ない、乱流に近いマントル対流が無数のプリュー ムを作り, 巨大な海台や海膨が無数に生成してい ただろう. それらの火山台地や地表はコマチアイ トやその分化物でできていた. 原始地殻について は(a)月のアナロジーからアノーソサイト, (b)状態 図に基づく推定からコマチアイトー玄武岩ー高Mg 安山岩, 或いは(c)花崗岩, の三説がある. (a)説は 廃れた. 何故なら水とMgに富んでいた地球のマグ マオーシャンでは斜長石は表層に浮かないからで ある。(b)説の場合、かんらん石とマグマの間で密 度の逆転が地下210km深度で起きて(大谷, 本号参 照), 大規模な結晶分化作用が進行したならば, マ グマオーシャンの固結とともに地表には高Mg安山 岩質な火山岩を含んだ地殻が出現しただろう. こ の場合, もし地表を原始海洋が覆い, 表層が剛体 と呼べるほど冷却していたならば、プレート表層 の地殻はマントル深度にまで運ばれ,花崗岩地殻を作っただろう(b-1)説.もし地表温度が高温過ぎて,原始海洋が存在しなかったならば原始地殻はマントル深度まで運ばれずに,現在の地球表層の付加体のような褶曲帯を作っただろう.従って花崗岩地殻は生まれない(b-2説).(b-1)説と(c)説が正しいならば,何故それ以降の時代に花崗岩地殻が消失したのかを説明せねばならない.岩体の規模が余りにも小さすぎたのが原因かもしれないが両説が誤りなのかもしれない.

#### (3)太古代の地球

40億年前以降になると地表には花崗岩の形成が 始まり、その量が急速に増える、それは何故か? 同時にそれ以前に存在した筈の地殻が何故すべて 消失したのかその必然性が説明されねばならない. 初めに、花崗岩の生成とその急速な増加が意味す ることはマントル深度に玄武岩質地殻が大量に運 ばれる機構が始まったことを意味する. 一旦生成 した花崗岩地殼は再びマントルに沈み込むことが なく、一方的に地表で蓄積される機構があり、同 時にもうひとつの機構があればすべてを説明でき る.40億年以前の地殻をすべてマントルへと沈み 込ませる機構である. この二つを満足させる解は プレートテクトニクスの開始である(図2b). プレー トテクトニクスの開始が地表温度の低下による剛 体プレートの形成であるならば、それは原始海洋 の形成と対応するのかもしれない. 従ってシナリ オは次のようになる. 原始海洋の形成とその冷却 効果の為にプレートテクトニクスが始まり、マン トル深度まで定常的に玄武岩地殻が運ばれる。そ れが部分熔融して地表にむかって上昇し花崗岩地 殻が生成蓄積され始めた. 花崗岩地殻は大きな浮 力をもつ. その為に一旦かなりの大きさにまで成 長すると、沈み込むことがなくなり、花崗岩地殻 は集積する.一方,海洋地殻はプレート沈み込み

の為に、時間の経過とともにマントルにすべて呑み込まれる。因に現在の地球では約1億年経過すると海洋プレートはマントルに没する。最も古い年代のものでも2億年が限度である。つまり、プレートテクトニクスの開始とともにそれ以前の全ての海洋地殻はマントルへと数億年以内に没した筈である。

水の役割についてコメントしておく.水の存在は地殻を冷却し、剛体としてのプレートを生む役割の他に、沈み込んだ海洋地殻を融解させる温度を無水に比べて著しく低下させる働きがある(1200℃から700℃へ下がる).その為に原始海洋誕生後の地球では容易に花崗岩地殻が増加した.

さて初めてのプレート沈み込みは巨大海台の周りで起きたであろう。それは巨大海台がもつ浮力の為で、その周囲の普通の海洋地殻をもつ海洋プレートの方が高密度となり、その密度差が原因で沈み込みが始まったと思われる。もし、玄武岩がエクロジャイトへ転移できるまで地球が冷却したならば、沈み込み速度は加速されたであろう。エクロジャイトは3.3gm/cm³の密度をもち、部分熔融したマントル(3.2gm/cm³)よりも重いからである。地温勾配が大きいと部分熔融の量が大きくなり、故に海洋地殻は厚くなる。一方プレートの厚さはかんらん石のブリットル/ダクタイル転移の温度(約1000℃)で決まるので、高温であった初期地球では現在よりもプレートは薄かっただろう。

以上は主として状態図に基づいた太古代の地球 像であるが、地表に残された物証ははたしてこの ようなシナリオを支持するであろうか?

40億年前から25億年前までの時代は太古代と呼ばれる.この時代の始まりは発見された地球最古の岩石の年代(カナダアカスタ片麻岩=39.6億年)を持って定義される.初めにプレートテクトニクスはいつ始まったか?について考える.1980年代に太古代にプレートテクトニクスが機能していたと

いう主張が既に存在した. その根拠は太古代造山 帯に大量に産する特殊なTTG(トーナル岩、トロニ エム岩、カコウ閃緑岩の三つの岩石の総称で英語 の頭文字を連ねた略称)と呼ばれる岩石の存在であ る. 実験岩石学の成果によると, このTTGを作る には玄武岩質岩石をマントル深度(30-70km)で約 20%程度溶かすとできる. 顕生代(最近6億年間)の 地球ではTTGはプレート沈み込みによって海洋底 玄武岩がマントル深度まで運ばれている場所だけ にできている. そこで、TTGの存在こそがプレー ト沈み込みの証拠とされた. しかしこの論理には 問題がある. プレートテクトニクスは玄武岩をマ ントル中に持ち込むための唯一の解ではなく、他 のプロセスによってもTTGは作りうるからである. 例えば金星でもTTGは少量だが存在するし、月に おいてさえわずかだが記載されている。これらの 天体にはプレートテクトニクスは機能したことが ないし、現在もそうである. 実は現在の地球でも プレート沈み込み帯以外でもほんのわずかだがTTG ができている.アイスランドなどのホットスポッ ト火山のように海洋地殻が20km程度にまで成長し た場合、地殻下部が一部熔融してTTGを生成する. よってTTGの存在はプレートテクトニクスが機能 していたと考える決定的な証拠とはなりえない、金 星・月と地球の間のTTGの量の違いを説明するに はプレートテクトニクスの存在が必要となるのだ ろうが、この話はいまだ証明されていない.

1990年代に入って太古代にプレートテクトニクスが機能していたという考え方が急速に浸透してきた(例えば[2], [3]). これら一連の研究ではほぼ水平な逆断層の存在から太古代の付加体の存在を主張するとともに、その構造を作った機構がプレートテクトニクスであると解釈した. しかしながら強い水平圧縮力の存在とプレートテクトニクスは必ずしも対応しない.

## 3. 付加体地質学と太古代のプレートテクトニクス

プレートが沈み込むと付加体という特殊な地質 体ができる. 付加体の中にはほぼ水平な逆断層が 頻繁に発達しているが、逆断層が発達している地 質体が必ずしも付加体とは限らない、従って、過 去の付加体の認定には逆断層(特にデュープレック ス構造をもつ)に加えてもう一つの条件、海洋プレ ート層序の確立が必要となる. この二つが満たさ れないと過去の付加体を認定することができない. 私たち日本のグループは特にこの点に注目して、多 くの研究者や学生と共に世界の太古代造山帯の地 質調査を1989年から開始した.この一連の調査は 現在に至るまで継続されている. その結果. 38億 年前のグリーンランド、イスア地域[4],[5]、35億年 前の西オーストラリア、ピルバラ地域[6]などから 続々と付加体が発見され、少なくとも38億年前に は既にプレートテクトニクスが機能していたとい う決定的な証拠を手に入れることが出来た. そし

て付加体中から初期地球のマントルの情報を解読するための有効な材料となる当時の中央海嶺玄武岩,海洋プリューム火山岩が大量に採取された.

はじめに付加体地質学の原理について簡単に解 説する.プートテクトニクスが機能している限り、 必ず海洋プレートは海溝からマントルに沈み込む (図3). 上盤側プレート上には例えば日本列島のよ うな島弧地殼が形成される. さて海洋プレートが 中央海嶺で誕生するとき、その表面は噴出した中 央海嶺玄武岩で覆われる. この溶岩は水中に噴出 するため、海水で急冷されて特徴的な枕状構造を 持つ溶岩になる(図3). その後、プレートは徐々に 海溝に向かって水平移動してゆく. その間にプレ ートの表面には極めてきめの細かい堆積物がごく ゆっくりと積もる. これらの堆積物は海洋生物の 遺骸、海水から化学的に沈殿した物質、はるか陸 地から風に乗って飛んできたほこりや火山灰、さ らには流星塵等の地球外物質を含む. これらの堆 積物は後に固結して極めて緻密な層状チャートと 呼ばれる岩石になる. プレートが海溝に近づくと

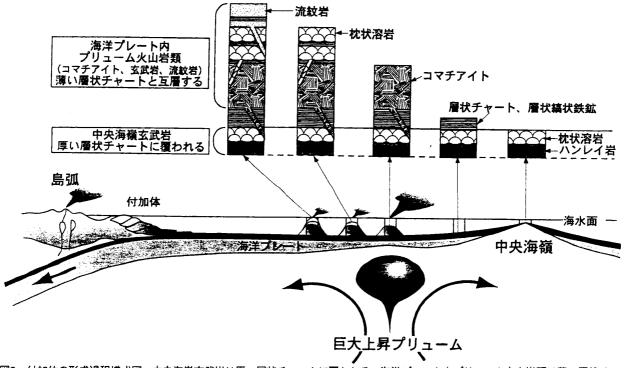


図3 付加体の形成過程模式図.中央海嶺玄武岩は厚い層状チャートに覆われる.海洋プレート内プリューム火山岩類は薄い層状チャートと互層する.産状によって両者は区別できる.

島弧から河川を通じて供給された粒子の荒い泥が 深海性の堆積物に混じるようになってくる. 最終 的にプレートが海溝にまで到達した段階で泥や砂、 時には礫などのいろいろな大きさの雑多な堆積物 がその上を覆うようになる、この雑多な堆積物は 島弧の河川の沖合いにたまっている泥、砂、礫が 地震や台風などの何らかのきっかけで崩れて海底 地滑りを起こして流れ出し、海溝にまで到達した ものである.このように海溝に沈み込む直前の海 洋底は下から上に向かって(a)枕状溶岩, (b)層状チ ャート、(c)きめの細かい緻密な岩石と泥が混じっ た岩石, (d)泥,砂,礫などが雑多に混じりあった 岩石が順番に積もっていることになる. 一方海洋 プレート内でプリューム火山が噴出した場合には 噴火の休止期に堆積した薄い層状チャートと火山 岩類が互層することになる(図3). 地質学者達は地 層の積み重なりの順序を層序と呼ぶが、とくにこ のような海洋プレート上の地層の積み重なりを海 洋プレート層序と呼んでいる. さてこの海洋底は その後、海溝から地球の中に帰ってゆくが、その 際プレートの表面の一部が沈み込まれる側のプレ ートに引っかかって薄くはがれる場合がある. 薄 くはがれた海洋底のスライスはあたかもトランプ を一枚ずつ下から差し込むかのようにぺたぺたと 重なって徐々に厚く成長してゆく. トランプを重 ねたような構造はデュープレックス構造と呼ばれ、 トランプが重なったような部分を総称して付加体 と呼ぶ(図3). すなわち海洋プレートが海溝で沈み 込むときにはデュープレックス構造と海洋プレー ト層序を持つ付加体が形成されることになる。逆 に言うと過去のある地質体を詳しく調べ、海洋プ レート層序とデュープレックス構造を見いだすこ とが出来たならば、その地質体は付加体であると 認定することができ、また当時プレートテクトニ クスが機能していたといえる. そして付加体中で 厚いチャートに覆われる枕状溶岩は中央海嶺起源 であり、薄いチャートと互層する火山岩は海洋プレート内プリューム火山岩であると断定できる. 付加体の背後では島弧火成活動が起きて、花崗岩質大陸地殻が成長する. 花崗岩質地殻は発達すると海面上に現われ、浸食されて堆積物となって、海溝へ運ばれ付加体の主要構成物となる. かくして時間とともに大陸縁は海側へと成長し、かっての付加体は花崗岩マグマに貫入されることになる. 例えば日本列島は1億年間に約100km海側へと成長した. 太古代の造山帯も、付加体の形成に始まり、花崗岩マグマに後に貫入されるというプレート収束域一般の特徴的な記録をとどめているのだろうか.

## 4. 火山岩からマントルの情報を得る為の手法

プレートテクトニクスの概念の成立後、そのフ レームワークに基づいて地球上の火山の噴出する 場が分類された、その結果、火山の噴出の場は(a) 中央海嶺, (b)沈み込み帯, (c)ホットスポット, に おおむね分類されることが明らかになった. この ようなプレートテクトニクスのフレームワークに 基づいた火山岩の噴出する場のことを一般にテク トニックセッティング(造構場)と呼ぶ、そして同時 に莫大な数の火山岩の岩石学的、地球化学的デー タが蓄積された. その結果各セッティングの火山 岩は岩石学的、地球化学的性質の系統的な違いを 持っていることが明らかにされた. 系統的差違の 原因は(a)起源マントルの化学組成の違い, (b)マグ マ生成の温度、圧力、揮発性成分の有無などの違 いであることがおもに天然あるいは合成のマント ル物質であるペリドタイトの高温、高圧熔融実験 のデータの蓄積により理解されてきた. その結果, 火山岩の化学組成から母マントルの化学組成や温 度を推定する方法が確立された.

さて,上述の手法は現在の火山岩に用いられる だけではなく,過去の火山岩に対しても有効なも

特集・初期地球のテクトニクスとマントルの進化/太田、丸山

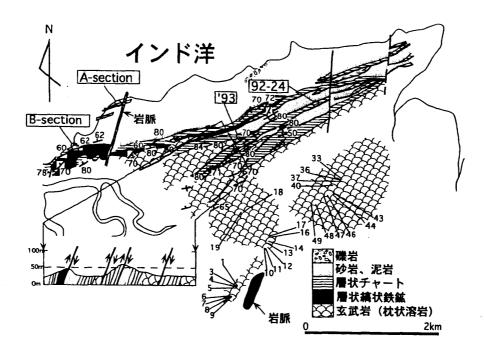


図4a クリーバビル地域の地質図([6]に加筆). 複数枚の層状チャートが側方に収束する構造から本地質体がデュープレックス構造を持つことが分かる.

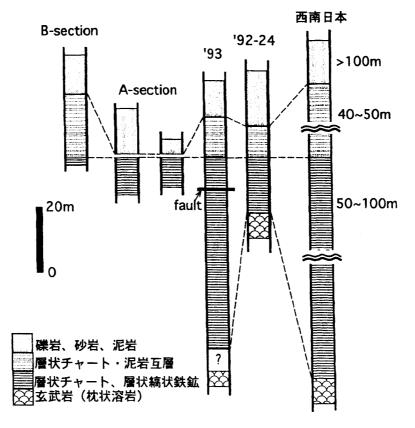


図4b 復元されたクリーバビル付加体の海洋プレート層序と西南日本のジュラ紀付加体の海洋プレート層序([6]に加筆)。厚い層状チャートの直下にある玄武岩は中央海嶺起源である。各柱状図の名称は図4 a に対応する。

のであることは言うまでもない. マントルのいろ いろな部分に由来する過去の火成岩を区別して解 析することが出来れば、高い分解能で過去のマン トルの各部の化学組成や温度が分かる事になる. いわば過去の火山岩はそのテクトニックセッティ ングさえ決定できれば当時のマントル情報の記録 者として使えるのである. しかしここで大きな問 題が立ちはだかってくる. それは過去の火成岩の テクトニックセッティングを決定する方法がなか ったということである. すなわち過去の造山帯に 残された火山岩から過去のあるマントルの情報を 引き出したとしても、それが当時のマントルのど の部分であるか分からないのである. 多くの研究 者がこの問題を克服するために長い間模索し続け てきた. しかし決定的な方法はなかなか提案され なかった.この問題を完璧に解決したのが上述し た付加体地質学の手法である. 以下にその例を解 説する.

# 5. 太古代付加体中に産する火成岩類の テクトニックセッティングの決定

北部ピルバラ地塊は北西オーストラリアに位置し、約35-25億年前に形成された太古代のかこう岩緑色岩帯が分布する.この地塊の特徴は約35-25億年前という、とほうもなく古い時代に形成されたにもかかわらず、形成後30億年以上の長い間、絶えず地表近傍の深さにあって、侵食削剥を免れてきたことである.その為に太古代マグマの研究目的には世界の全ての太古代地塊の中で最も適した地域である.ピルバラ地塊北西部に位置するクリーバビル地域には、太古代33億年前の緑色岩(玄武岩が弱い変成作用を受けて緑色の外観を呈するようになった岩石)、層状チャート・BIF(縞状鉄鉱)が産し(図4a)、それらは層理面にほぼ平行なNE-SW方向の断層によって見かけ上何度も同じ層準が構造的に繰り返されている.数枚の層状チャート・

BIFは側方に追跡すると一枚に収束することから、 本地質体はいわゆるデュープレックス構造をなす ことが分かる. 層序関係が露頭において確認され る場合には、緑色岩が厚い層状チャート・BIFの下 位に常に産する. 層序学的上下の判定は枕状溶岩 の形態により判断できる. 層状チャートは上方に 向かって泥岩と互層するようになり、徐々にその 割合が増してくる。この層序は顕生代の付加体中 に見られる海洋プレート層序, 例えば西南日本の ジュラ紀付加体において復元されたものと基本的 に一致する(図4b). 以上の産状は厚いBIF・チャー トで覆われた緑色岩が太古代の中央海嶺玄武岩起 源であることを強く示唆する.また層状チャート・ BIFが遠洋性堆積物であることを示している. 以上 のようにこの地域の地質は付加体の認定条件であ るデュープレックス構造と海洋プレート層序の存 在を満足している[6].

一方ピルバラ地塊東部のキャメルクリーク川沿 いには太古代35億年前のコマチアイト,玄武岩, 流紋岩起源の緑色岩類と層状チャート類が産する (図5). 本地質体は層理面にほぼ平行なスラストに よって幾つかのユニットに隔てられており、各ユ ニットはその産状から2種類に分類される. すなわ ち(a)玄武岩質緑色岩が厚い層状チャートの下位に 産するユニット, (b)薄い層状チャートとコマチア イトー玄武岩質緑色岩および流紋岩質緑色岩が互 層するユニットである. ユニット(a)において層状 チャートを側方に追跡すると一本に収束すること から、本地質体がいわゆるデュープレックス構造 をなすことがわかる. ユニット(a)は厚い層状チャ ートの直下に玄武岩質緑色岩があることから, 中 央海嶺玄武岩が噴出して海溝に至るまでの間に層 状チャートが堆積し付加した付加体であることが わかる. 一方ユニット(b)は火山岩類が層状チャー トと互層する点でユニット(a)と異なっている. こ の層序は火成活動の休止期に層状チャートが堆積

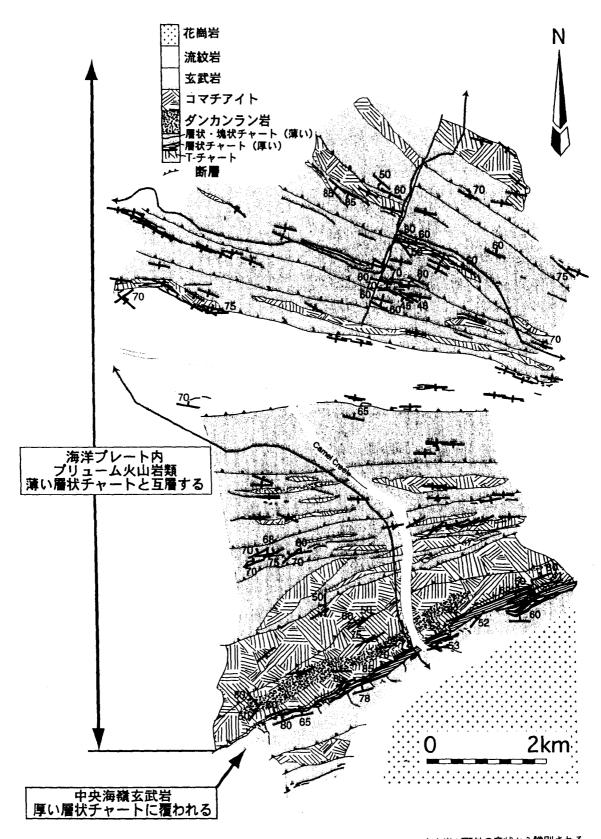


図5 キャメルクリーク地域の地質図、中央海嶺玄武岩と海洋プレート内プリューム火山岩が野外の産状から識別される。

し、再び噴出した火山岩類にチャートが覆われるという現象の繰り返しによって生じたものと考えられる(図3). これはすなわちコマチアイトー玄武岩、流紋岩といったバイモーダル火成活動が海洋プレート内で起きていたことを意味する. これらの産状はキャメルクリーク火山岩類が太古代の海洋プリューム火山岩であることを強く示唆する[7].

## 6. 太古代付加体に産する火山岩から解読された初期地球マントルの進化

東工大では現在までにほぼ太古代全期間を通じた中央海嶺玄武岩と海洋プリューム火山岩類が採集され、ようやく物証に基づいた太古代のマントル進化の議論が可能となってきた。以下にその成果の一部を整理して紹介する。

(1)太古代の最上部マントルは現在に比べて鉄に富んでいた.

太古代の中央海嶺玄武岩はほぼ例外無く現在の中央海嶺玄武岩に比べて鉄分に富む.これはその起源マントルである最上部マントルがやはり鉄に富んでいたことを意味する.岩石学的手法を用いて見積もられた当時のマントルのMg\*値(100Mg/Mg+Fe)は85程度であり[6][8][9]現在の値は90である.これをおおざっぱに言うと現在の最上部マントル2に対して現在の平均的な中央海嶺玄武岩を1の割合で混ぜると太古代のマントルができることになる.このことは太古代から現在に至るまでの間に最上部マントルから相当量の鉄分が失われたことを意味する.これらの鉄分はどこに行ってしまったのだろうか?

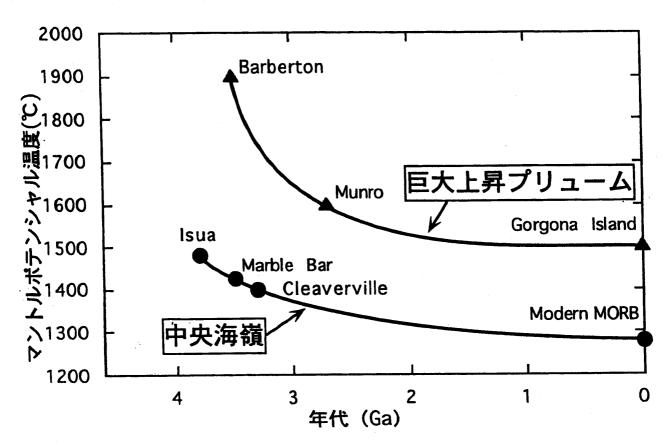


図6 マントルポテンシャル温度の地球史を通じた経年変化(データは[6][8][9][10][11]より引用). 地質時代とともにマントルの温度が低下したことがわかる。

(2)マントルの冷却の様子が定量的に明らかになった。

高温のマントルが断熱的に上昇すると圧力の低 下が原因で上昇するマントルの内部にマグマが発 生する. しかし、もしマグマが発生しないで地表 までその高温マントルが上昇したと仮定すると地 表到達時のマントルの温度を定義することが出来 る.それをポテンシャル温度と呼ぶ.さて太古代 の中央海嶺玄武岩から解読された地球の平均的な ポテンシャル温度は38億年前が1480度C[8], 35億 年前は1425度C[9], 33億年前は1400度C[6]そして 現在は1280度C[10]である(図6). 一方で高温のマン トル上昇流であるホットプリュームのポテンシャ ル温度の経年変化についてはコマチアイトと呼ば れるプリューム火山岩の化学組成の経年変化に基 づいて幾つかの報告がなされている[11]. それによ ると35億年前は1900度C(Barberton), 27億年前は 1600度C(Munro)そして現在は1500度C(Gorgona Island)である(図6). このように地球の地球史を通 じた冷却の様子が中央海嶺直下(地球マントルの平 均的な温度)と巨大上昇プリューム(マントルの最高 温度)の両者について定量的に求められるようにな った.

### 参考文献

- [1] Condie K. C., 1989: Plate Tectonics and Crustal Evolution (3rd ed.). Oxford: Pergamon.
- [2] Hoffman, P. F., 1991: On accretion of granite-greenstone terranes. in Greenstone, *Gold and Crustal Evolution* (Robert, F., Sheahan, P. A., and S. B., Eds.), Geol. Assoc. Can., 32-45
- [3] De Wit, M. J., 1991: Archaean greenstone belt tectonism and basin development; some insights from the Barberton and Pietersburg greenstone belts, Kaapvaal Craton, South Africa. *J. Af.*

- Earth Sci. 13, 45-63.
- [4] Maruyama, S. et al., 1992: 3.9-3.9 Ga plate tectonics on the earth: evidence from Isua, Greenland. in Conf. on Evolving Earth, Abstr. Vol. at Okazaki, Japan, 133.
- [5] 小宮剛ほか, 1995: 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-1. 地質ニュース **489**, 49-61.
- [6] Ohta, H. et al. 1996: Field occurrence, geochemistry and petrogenesis of the Archean Mid-Oceanic Ridge Basalts (AMORBs) of the Cleaverville area, Pilbara Craton, Western Australia. Special volume on "Mafic magmatism throuth time", Lithos, 37, 199-221.
- [7] 太田宏, 丸山茂徳, 1996: 太古代海洋プレート 内バイモーダル火成活動 -ピルバラ, キャメ ルクリーク地域の例-. 地球惑星科学関連学会 合同大会予稿集, 13.
- [8] 小宮剛, 丸山茂徳, 1996:太古代中央海嶺玄武岩の経年変化. 地球惑星科学関連学会合同大会予稿集, 13.
- [9] 大栗究,1996: Field occurrence, geochemistry, and petrogenesisi of the Archean mid-oceanic ridge basalts and the ocean-island basalts of the Marble Bar area, Pilbara craton, western Australia. 東工大卒論, 45pp.
- [10 Mckenzie, D., and M.J. Bickle, 1988: The volume and composition of melt generated by extension of the lithosphere. *J. Petrol.* **29**, 625-679.
- [11] Herzberg, C., 1992: Depth and degree of melting of komatiites. *J. Geophys. Res.* **97**, 4521-4540.