

# 超高压変成岩 —地球深部との往復書簡(1)—

坂野 昇平<sup>1)</sup>・榎並 正樹<sup>2)</sup>

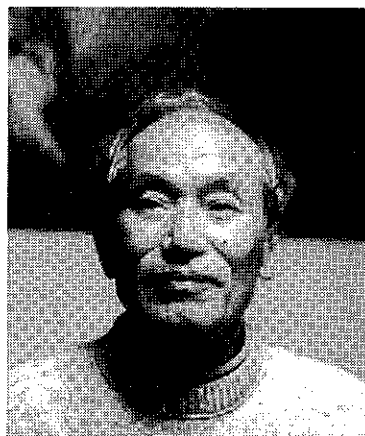
## 1. はじめに

変成作用は、地殻内部での岩石の状態変化だけでなく地殻-マントルの相互作用を引き起こす地球深部の物質循環にとっても、本質的な現象である。したがって、変成岩は地球深部で進行している天然の実験の生成物であると同時に、地球深部の進化の様子を記録したタイム・カプセルでもある。1980年代前半にコース石を含む変成岩が報告され、それらは超高压変成岩<sup>註1)</sup>と呼ばれるようになった。この発見により、地殻物質がそれまでの予想をはるかに超えた地球深部にまで沈み込んでいること、それを再び地表にもたらすためのプロセスの存在が明らかとなった。そして、現在では5-6 Gpa (深さ約150-200kmに相当)の圧力条件下で形成された変成岩類や超塩基性岩類の岩石学、鉱物学や地球化学が、何の抵抗もなく論じられるようになっていく。筆者たちは、超高压変成岩研究の初期の頃から、様々な形でそれらと関わってきた。本号では、主に中国での経験に基づいて超高压変成作用の研究史を述べ、次回(第2部)では超高压変成岩の岩石学的・鉱物学的特徴を紹介する。

## 2. 造山運動と変成作用

褶曲山脈をつくる造山運動のプロセスの解明は、地質科学の根幹となる問題の一つである。そして、実に長い間、ほとんど唯一の山脈の成因論(造山運動論)は、大陸内あるいはその周辺地殻の長い凹地である地向斜の発達により山脈ができるという概念であった。しかし、1950年代後半から1960年代の初頭にかけて、古地磁気データに基づいて大陸漂移説が実証され、高压変成岩や島弧火山岩

の成因が議論され、海洋底拡大説が提唱された。これらを初めとする多くの成果をもとにして、1960年代後半に提唱されたプレート・テクトニクス説により、造山運動が統一的に説明されるようになると、地向斜とは何かが初めて科学的に検討され、地質学は思弁的な概念と袂を分かち実証的科学の一部となった。時を同じくして、都城秋穂(第1図:敬称略)によって提起された、大陸側に低压型、海溝側に高压型の広域変成帯がそれぞれ形成

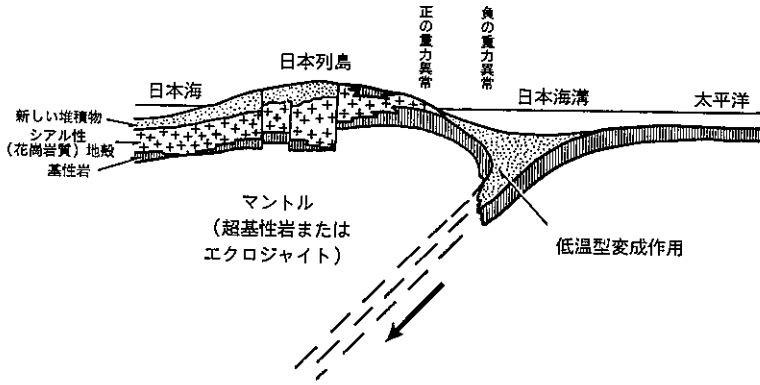


第1図 都城秋穂氏(1920~)。

されるとする“対の変成帯”の概念(都城, 1959; Miyashiro, 1961)は、多くの人により地質学とプレート・テクトニクスの重要な接点として認められた。彼は、名著「変成岩と変成帯」の中で、マントル内対流に対する位置関係の違いによって、異なる圧力型の変成帯が形成されるとする仮説を提唱した(都城, 1965)。そして、この説の出発点とも言うべき島弧断面図(第2図:都城, 1961)は、現在のそれと比べても遜色がないほど明確に島弧-海溝系の特徴を表している。

1) 京都大学 名誉教授:  
〒606-8502 京都市左京区北白川追分町  
2) 名古屋大学 大学院環境学研究所:  
〒464-8602 名古屋市千種区不老町

キーワード:超高压変成岩, 大陸衝突帯, 中国, 蘇魯地域, コース石

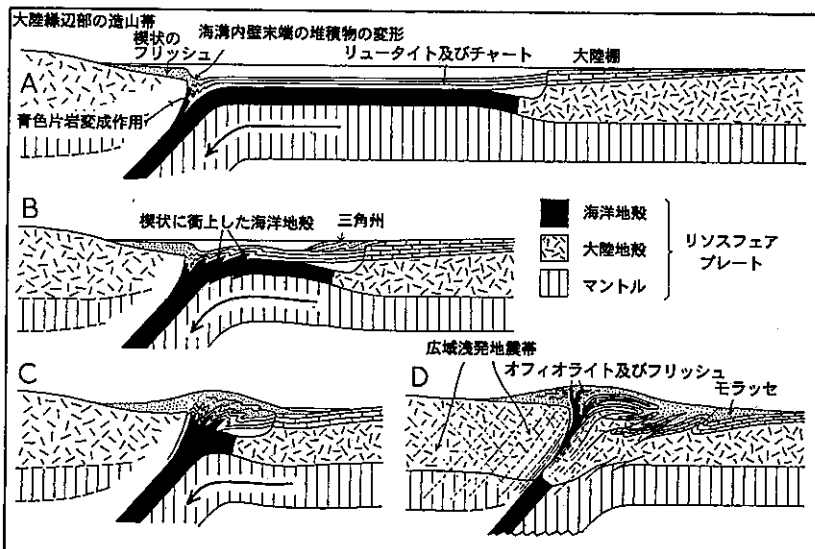


第2図  
都城(1961)に掲載されて  
いる「東北日本と日本海溝  
付近の推定地下構造」、  
一部簡略化。

1960年代という狂乱怒涛の時期(時代というには短かすぎる)に行われた造山運動をプレート・テクトニクス説で説明しようとする努力の成果は、Dewey and Bird (1970)のモデルに集約できよう。彼らは、もはや地尙斜という言葉を使わなかった。日本でも1970年代の初期に、堀越 毅が地尙斜という概念は意義を失ったので、もうその言葉を使わないで“海溝”で置き換えようという提案を、ある雑誌に投稿した。しかし、それは結局印刷されなかった。そして、地尙斜が造山運動の基礎とは思わなくなった人達でも、1980年ごろまではその語句を細長い堆積盆地という意味で便宜的に使っていた。DeweyとBirdは、造山帯を大陸縁辺における海洋プレートの沈み込みを原因とする「コルディレラ型」とアルプスやヒマラヤを代表例とする大陸と島弧-大陸の衝突による「衝突型」に分けた。そし

て、山脈はプレートの境界に存在することが認識されるようになった(第3図)。衝突型造山帯の場合、両大陸間にある海洋地殻が一方の大陸下に完全に沈みこんで大陸どうしが直接衝突すると、マントルよりも密度の小さい大陸地殻は地球深部へは沈むことが困難であるため、プレートの動きが減速し、衝突帯は圧縮されたり横方向に流れると、当時は考えられた。この考えは相当に根強かったが、後に述べるように超高压変成作用を受けた酸性岩類の発見は、大陸地殻さえも上部マントル内に沈み込みうることを明らかにした。

1970年代には変成岩岩石学は比較的平穏であり、合成実験の成果が変成作用の温度・圧力条件を決定する事を可能にし、それを固溶体鉱物からなる変成岩に应用するための固溶体の熱力学的モデルの構築が進み、条件がそろえば個々の岩石の



第3図  
Dewey and Bird (1970)に  
よって提案された、大陸  
と大陸の衝突過程。この  
モデルでは、大陸地殻が  
マントル内に沈み込むこ  
とは想定されていない。

生成温度・圧力条件を、単変曲線で囲んだ区域(例えば変成相)でなく、数値で直接語ることが可能になった。そして、年代測定値や岩石・鉱物の分析値が質と量の両面で革命的に増加したことなどと相まって、世界各地の造山帯に分布する広域変成岩の研究が着実に進んでいた。しかし変成岩岩石学の地質学への貢献は、都城の提案した“変成相系列”と“対の変成帯”の概念の枠内にとどまっていた。

### 3. 超高压変成作用研究の歴史

このエッセイの著者である坂野と榎並の超高压(UHP)変成作用との関わりは互いに異なっているので、この章ではそれらを簡単に紹介する。

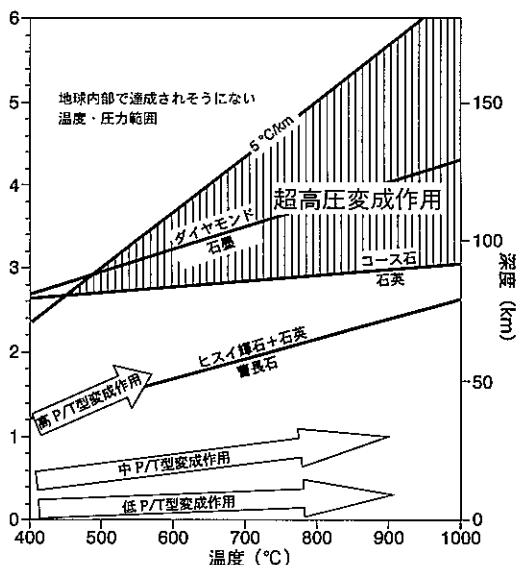
#### 3.1 変成岩からのコース石の発見

1983年に“青色片岩とエクロジヤイト<sup>註2</sup>”についてのペンローズ(Penrose)会議(アメリカ合衆国地質学会主催)<sup>註3</sup>が、ワシントン州のベリンハム(Bellingham)にあるNorthwestern Washington大学で、E. H. BrownとE. W. Evansを主催者として開かれた。この会議には坂野を含む7名の日本人が参加した。その席上でフランスから2つの衝撃的な発表があった。それはEcole Normale SupérieureのC. Chopinと自然史博物館のD. C. Smith(イギリス人:第4図)によるもので、前者は西アルプス・Dora Mairaの堆積岩源変成岩中からざくろ石の包有物として、後者はNorway西海岸・西部片麻岩地帯のエクロジヤイト中からオンファス輝石の包有物として、それぞれ石英の高压相であるコース石(coesite)が産することの報告で、場内がどよめいた。口の悪いSmithは、「高压変成岩の研究者は、今まで沈み込みがアルバイト(NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>)=ひすい輝石(NaAlSi<sub>2</sub>O<sub>6</sub>)+石英(SiO<sub>2</sub>)の単変曲線(反応曲線)に沿って起こっているものと思こんでいた。」と、強烈な皮肉を述べて講演を終わった。コース石が生成するには、2.5GPa以上という変成岩石学の分野でそれまでに考えられていたよりもずっと高い圧力が必要である(第5図)。変成岩研究者に向けられたSmithの皮肉は、同時に他の分野にも向けられていたのかもしれない。例えば、1980年代前半までは、数値計算の世界に



第4図 第1回国際エクロジヤイト巡検会議(1987年ノルウェー)の際に、巡検案内をするD. C. Smith教授(高須 晃氏写)。

おいてさえ100km以深での変成作用が語られることはほとんどなかった。しかし、コース石の発見以降は、それまでは考えられなかったような低い地温勾配が海洋プレートの沈み込みで達成され得ることが、次々とシミュレートされるようになった。一つの事実がモデルを大きく変えうるという好例であろう。ペンローズ会議でのコース石の報告は、Chopin(1984)とSmith(1984)として印刷公表された。



第5図 超高压変成作用と通常の広域変成作用の温度-圧力領域の比較[各鉱物の安定境界は、Holland and Powell(1998)の熱力学データベースを用いて求めた]。

### 3.2 中国の超高压変成帯の共同研究の開始

ペンローズ会議での報告は、世界の高压変成岩研究者の関心を一齐に超高压変成岩へむけさせた。しかし、1989年になるまで、おそらく大部分の変成岩研究者は、アルプスやノルウェーでのコース石の産出が極めてまれな例であろうと、思っていた。

#### 3.2.1 京都・金沢両大学での研究

京都大学では、高須 晃と平島崇男がペンローズ会議から帰国後、直ちに手持ちのエクロジャイトを検鏡し、ざくろ石中に包有されている $\text{SiO}_2$ 鉱物を調べたが、コース石は見つからなかった。そうするうち、1987年に山東省に産するエクロジャイトの共同研究が、中国科学院から京都大学に提案された。この共同研究のために、日本学術振興会と文部省へ海外学術調査研究費を申請したが採択されなかった。そこで、東京地学協会からの助成金と、日本板硝子から坂野へ授与された研究助成金の一部を使用し、中国語に堪能な金沢大学の石渡 明の参加を得て、平島をリーダーとし、若手だけで1989年6月に予察を行う予定をたてた。その準備のさなかの5~6月に、坂野は日本学術振興会と英国王立協会との交換研究員としてManchester大学に滞在していた。ところが6月4日を頂点とした天安門事件がおこり、この事件に関して英国における中国批判が極めて強いのに驚き、出発を中止するように電話で日本在住の参加予定者の説得を重ねた。そのうち文部省からも中国行きを止められたので、ともかく予定していた調査を一旦中止した。若い人は、かまわないから行きたいと言い、その説得の際にはちょうど使われ始めたFAXをManchester大学の物理学教室で使わせてもらった。

その夏、山口大学の松本徂夫と中国科学院の従柏林(Cong Bolin)を代表とする日中共同研究の中国側参加者が来日し、中止解除後の共同研究の打ち合わせのために京都大学へ立ち寄った。彼らは多数のエクロジャイト薄片を持参し、それらを平島と石渡が検鏡した結果、屈折率が石英より高く研磨強度も高いコース石らしい結晶を、ざくろ石の包有物として認めた。そして、組成が $\text{SiO}_2$ であること、光軸角 $2V(+)$ が $60^\circ$ であること(石渡がユニバーサル・ステージを用いて測定した)を確認したことで、それがコース石であると断定した(Hirajima



第6図 Hirajima *et al.* (1990)によって、コース石を含むエクロジャイトが報告された中国・江蘇省東海県孟中の露頭(坂野写)。

*et al.*, 1990)<sup>14</sup>。秋になって中国側の事情も安定したので、坂野も参加し2週間の山東半島南部の調査旅行を行った。このとき江蘇省・東海(Donghai)地域でコース石を含む標本が採取された道路沿いの露頭(第6図)を見学したが、それは、我々の感覚では風化した露頭であり、標本が間違っていたのかと一瞬青くなった。しかし、この露頭から掘り出したエクロジャイトは、比較的新鮮だったのでほっとしたことを覚えている。なお、この露頭からダイヤモンドが見つかったという話を聞いたことがある。これを含めて大別山・蘇魯地域のいくつかの露頭から、ダイヤモンドの産出が主に口頭で報告されているが、いずれの場合も他の研究者によって追認されてはいない<sup>15</sup>。

#### 3.2.2 名古屋大学での研究

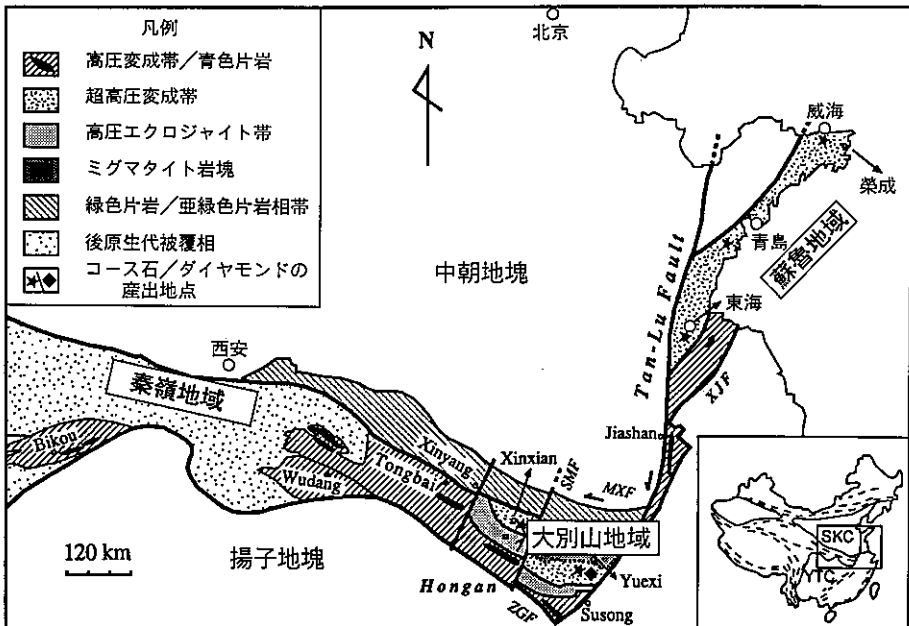
榎並と中国のエクロジャイトの関わりは、1986年に日本学術振興会の招聘研究員(短期)として名古屋大学を訪れた北京大学の臧 啓家(Zang Qijia)との共同研究に始まる。彼は、山東半島周辺に産する種々の岩石を持参したので、それらのいくつかの岩石記載を行った。そして、蘇魯地域の試料の中に、藍晶石+オンファス輝石の共生(形成圧力の下限は、温度 $700^\circ\text{C}$ で $1.7\text{GPa}$ )や $\text{MgO}$ に富む十字石(同 $1.1\text{GPa}$ )が産することから、それらが漠然と高压で形成されたいと考えた(Enami and Zang, 1988)。しかし、その時点では、これらの岩石の形成条件が、コース石の安定領域に入っているとは思ってもよらなかった。その後、1989年1月にコ

ース石の仮像(らしい)ものを見つけたが、ちょうど Stanford 大学へ短期の研究員として出発する直前であったことと、同じような発見が他の研究者によってもなされているとは夢にも思わなかったため、帰国後に調べればよいといささか甘い判断をして、そのままにしておいた。しかし、Stanford 大学を訪れて1ヶ月くらい経った時、同じ研究室にいた王小民 (Wang Xiaomin) が、大別山地域のエクロジャイトからコース石を発見したと知らせにきた (Wang et al., 1989)。それを聞いて、私は急遽日本から薄片を送ってもらい約2週間で原稿を作成し投稿した。そうするうちに、同年夏にドイツ・ヴュルツブルグ (Würzburg) で開催された第3回国際エクロジャイト会議で楊 建軍 (Yang, Jian-Jun) と前述の Smith が蘇魯地域からコース石の仮像を報告し (Yang and Smith, 1989)、さらに Okay et al. (1989) によって、大別山地域から残存するコース石が報告された。そして、前述のように京都・金沢両大学と中国科学院の共同研究によっても類似の仕事が行われていたのだが、それを知る由もなかった。結局、私たちの論文の独自性は認められたものの、それは最初に中国のコース石エクロジャイトの存在の可能性を指摘したものではなく、またコ

ース石そのものを報告したものでもない、三番手グループの報告となった (Enami and Zang, 1990)。そして、榎並は見通しが甘かったことを痛感し、同時に研究テーマにも匂があり、論文原稿はどんなに早く用意しても早すぎることはないことを強く認識した。

### 3.2.3 その後の共同研究

1991年の夏には、日本学術振興会へ出していた海外調査費の申請が受理されたので、石坂恭一と榎並が加わり6月に計30日の蘇魯地域の調査を行った(第7図)。帰国の都合上参加者は3つの班に分かれ、第2班の石渡と榎並は、帰国当日午前の空き時間を利用して中国科学院で山東半島の先端部に位置する威海 (Weihai) の薄片を検鏡した。そして、それまでグラニュライトとされていた岩石のざくろ石中にコース石が包有されていることを見いだした。この成果から、蘇魯地域においては超高压変成帯の北西側の境界、すなわち揚子地塊と中朝地塊の境界は、威海の西を通り韓半島のイムジン川付近を通り日本の飛騨変成帯につながるという考えが提案された。しかし、少なくとも飛騨帯からはエクロジャイトもしくはそれに由来する角閃岩の



第7図 秦嶺-大別山-蘇魯超高压変成帯の分布 [Wang et al. (1995) に、蘇魯地域を中心として、一部の漢字表記の地名を加筆]。

ブロックは報告されておらず、また蘇魯地域と飛驒帯の主要な構成岩類である片麻岩類の岩相や変成条件も大きく異なっている。したがって、中国の超高压変成帯の東方延長問題についてはさらなる検討が必要であろう。なお、その後、威海試料中のコース石の同定については、中国側上層部の同意を得ずして勝手に行われたものであるとの、全くいわれのない抗議を受けた(この顕微鏡観察は中国側の研究代表者である従 柏林氏が提案し、彼が同席して行われた。当時の中国科学院で客人が勝手に顕微鏡観察をすることなど、そもそも不可能だった)。それをうけて、我々は共同研究をやめるのか、妥協して継続するかの決断に迫られた。結局、メンバーに継続派が多かったことと坂野もここでやめるのは心残りだったので、1991年の秋に坂野が中国科学院に講義に行った際に話し合いを持ち中国側が先に発表すると妥協したが、これで共同研究に消極的になった人も出た。共同研究をやめたほうが研究者としては純粹だったし、妥協したことはその後の共同研究に必ずしも良い影響をもたらさなかったようにも思える。

日中共同研究を実質化するため1990年には中国科学院の二人の研究者を2ヶ月招待し、採取した標本の電子線マイクロプローブ・アナライザ(EPMA)による鉱物分析を京都大学で平島を中心に共同で行った。その後、金沢大学での実験をおこなった人を含めると延べ計七名の研究者を招待した。また、日本学術振興会の招聘研究員(短期)として中国科学院の叶 凱(Ye Kai)を京都大学に招待した。この交流から、彼をはじめとして張 儒媛(Zhang Ru-Yuan)などの中国を代表する岩石学者が育ったが、一緒に来日した人の中には、何をしに来たか何をやってもらえばよいかお互いによく理解できず、唯の友好交流になってしまったようなケースもあった。

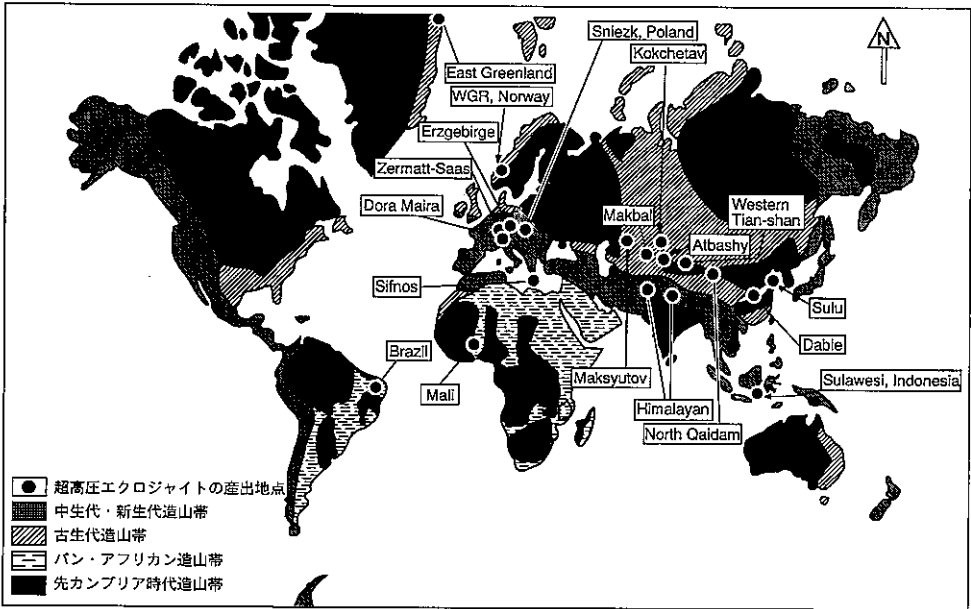
京都・金沢・名古屋大学と中国科学院の共同研究は、1989年から1995年まで断続的に行われた(1994年から平島が代表)。また、1998-1999年には中国地質科学院(安徽省地質科学研究所)との構造地質学的な調査を中心とした共同研究(代表者: Simon Wallis)を行った。これらの延べ7回にわたる調査によって、全体としては多くの成果を上げることができ、特に大陸での野外調査は勉強に

なった。また、岩石学・鉱物学の分野でも以下のように多くの研究成果を得ることができた: 蘇魯地域でのコース石や鉄ニブ閃石の発見、超高压エクロジャイトのグラニューライト化の確認、5~6GPaの生成圧力を記録するざくろ石レールゾライトの発見、広域にわたるエクロジャイトの急速な上昇を示す温度・圧力経路の確認、Rb-Sr法、SHRIMPやCHIMEなどによる年代測定、花崗岩の組織を残して超高压変成岩化した岩石の発見、エクロジャイトを包有する正片麻岩が超高压変成作用を被っていることの検証、鉱物中の包有物としてではなく基質中に残存するコース石の発見など。これらのうち、基質中にコース石の存在することは超高压変成作用がH<sub>2</sub>Oに乏しい環境下で進行したことを如実に示す重要な発見だが、国際誌上への発表は別のグループに先を越されてしまい残念な思いをした。幸い中国側のメンバーの一人である叶が、日本人の共同研究者との連名で中国の雑誌にこの発見を発表済みであったので何とか救われている(叶 他, 1996)。しかし、この論文は明らかに先取権があるにもかかわらず殆ど引用されず、不可解である。それは、査読のあるいわゆる国際誌に発表されていないというのが主な理由かもしれないが、もしその論文が発表されていることを知っているなら、それを引用しないのは先取権の無視である。

共同研究の期間中に日中研究者の交流は、次第にうまく流れるようになった。お互いの歴史と文化の違いというほど大袈裟にならなくとも、科学社会の違い、経済状態の違いは厳然と存在する。しかし、完全とはいかなくてもお互いに理解が深まり、研究交流は各々の大学で続き、多くの成果を上げている。

#### 4. 超高压変成岩の分布

1989年に相次いで報告された中国のコース石エクロジャイトの存在は、秦嶺(Qinling)・大別山(Dabieshan)\*注6・蘇魯(Sulu)\*地域と続く、総延長2,000kmを超える、世界で最大の超高压変成帯の存在を明らかにしたのみならず、その後相次いでなされた世界各地からの超高压変成岩の発見の端緒となった。第8図に、2001年現在で報告され



第8図 超高压変成岩の分布 [Carswell and Zhang, (1999)にLiou et al. (2001)のデータを加筆].

ている超高压変成岩の産出地点をしめす。西アルプス\*とノルウェーの西片麻岩地域のほかに、1989年から1994年の間にマリ(Mali, 西アフリカ)、ボヘミア(Bohemia)地塊の周辺のエルツゲビルゲ(Erzgebirge, ドイツ)とスニェズク(Sniezk, ポーランド)、中央アジア地域のコクチェタフ(Kokchetav, カザフスタン)\*、マクシュトフ(Maksyutov, ウラル)\*、マクバル(Makbal, キルギス)\*に、コース石を産することが明らかになった。その後、ヒマラヤ(パキスタン)やスラウェシ(Sulawesi, セレベス)\*などからコース石あるいはその仮像が発見された。変成作用で形成されたダイヤモンドが旧ソ連に産するという話は1987年に聞いていたが、1990年に Sobolev and Shatsky (1990) がコクチェタフ岩体の片麻岩のジルコンの包有物としてマイクロ・ダイヤモンド(直径10 μm程度)を報告した。この地域にダイヤモンドが産することは少し前から知られていたようだが戦略資源として伏せられていたという。その後、マイクロ・ダイヤモンドはノルウェーの西片麻岩地帯、エルツゲビルゲおよびヒマラヤからも報告されている。

このように、現時点で超高压変成岩を産する地域は、インドネシアの例を除くと、すべてが大陸衝突帯である。しかし、コース石の安定領域近傍か領域内の変成条件下で形成されたことが分かってき

た変成岩類は多い。例えば、2001年8-9月にかけて日本国内で開催された、超高压変成作用ワーク・ショップ(早稲田大学)および第6回国際エクロジャイト会議(愛媛県新居浜・土居・別子山)では以下の報告がなされた: 三波川変成帯・別子(T=650-900℃・P=2.0-4.5GPaの平衡条件を保持する一部のエクロジャイトや超苦鉄質岩類; Enami and Mizukami), ニューカレドニア(550-600℃・1.6-1.8GPaの累進エクロジャイト; Fitzherbert et al.), アメリカ・テキサス(750℃・1.5-2.1GPaの低压変成堆積岩に残留するざくろ石-単斜輝石岩; Anderson and Carlson), グリーンランド(コース石の仮像を含むエクロジャイト; Gilotti and Krough Ravana), インド・ヒマラヤ\*(コース石を含むエクロジャイト; Sachanet et al.), スロバキア・カルパチア変成帯(700℃・1.8GPaを示すエクロジャイト; Faryad and Hoinkes)。今日では、コース石の発見法が洗練されてきているので、今後も思わぬ地域から超高压変成岩が見出されるのではなかろうか。

(第1部)

脚 注

注1 英語では、一般にUltra-high pressure (UHP) metamorphism, 時にはVery high pressure (VHP) metamorphismと記述される。

- 注2 いずれも0.8-1.0GPaよりも高压の条件下で安定な変成岩であり、海洋地殻が沈み込み帯にそって、マントル内にもたらされて形成される主要な岩石である。
- 注3 アメリカ合衆国地質学会(GSA)の発展のため多額の寄付をしたR. A. F. Penrose, Jr.氏にちなんで、明確な課題を決めた小討論会。
- 注4 コース石あるいはダイヤモンドの最も能率の良い発見法は、東京工業大学・丸山茂徳のグループが開発した、ジルコンやざくろ石の包有物を顕微ラマン分光を用いて同定する方法である(例えば、Katayama *et al.*, 2000)。また、最近、Massonne *et al.* (1998)によって薄片の研磨法によるマイクロ・ダイヤモンドの迅速な同定法が提案されている。
- 注5 東海地域では、国際大陸地殻掘削計画によって深部探査ボーリングが予定されており、その計画書にはダイヤモンドの産出が期待できるとある。しかし、2001年末現在、予備的な試錐は終了しているが、ダイヤモンドの報告はされていない。
- 注6 (\*)印は、日本人が研究に参加している地域である。

## 文 献

- Carswell, D.A. and Zhang, R.Y. (1999) : Petrographic characteristics and metamorphic evolution of ultrahigh-pressure eclogites in plate-collision belts. *Intern. Geol. Review*, 41, 781-798.
- Chopin, C. (1984) : Coesite and pure pyrope in high-grade blueschists of the Western Alps: a first record and some consequences. *Contrib. Mineral. and Petrol.*, 86, 107-118.
- Dewey, J.F. and Bird, J.M. (1970) : Mountain belts and the new global tectonics. *Jour. Geophys. Res.*, 75, 2625-2647.
- Enami, M. and Zang, Q. (1988) : Quartz pseudomorphs after coesite in eclogites from Shandong province, east China. *Amer. Mineral.*, 75, 381-386.
- Enami, M. and Zang, Q. (1990) : Magnesian staurolite in garnet-corundum rocks and eclogite from the Donghai district, Jiangsu province, east China. *Amer. Mineral.*, 73, 48-56.
- Hirajima, T., Ishiwatari, A., Cong, B., Zhang, R., Banno, S. and Nozaka, T. (1990) : Coesite from Mengzhong eclogite at Donghai country, northeastern Jiangsu province, China. *Mineral. Mag.*, 54, 579-583.
- Holland, T.J.B. and Powell, R. (1998) : An internally consistent thermodynamic data set for phases of petrological interest. *Jour. Metamor. Geol.*, 16, 309-343.
- Katayama, I., Zayachkovsky, A.A. and Maruyama, S. (2000) : Prograde pressure-temperature records from inclusions in zircons from ultrahigh-pressure-high-pressure rocks of the Kokchetav Massif, northern Kazakhstan. *Island Arc*, 9, 417-427.
- Liou, J.G., Maruyama, S., Zhang, R. Y. and Ogasawara, Y. (2001) : Current advance in the study of ultrahigh-pressure (UHP) metamorphism. UHPM Workshop 2001 at Waseda University, abstract, 56-60.
- Massonne, H.-J., Bernhardt, H.-J., Dettmar, D., Kessler, E., Medenbach, O. and Westphal, T. (1998) : Simple identification and quantification of microdiamonds in rock thin-sections. *European Jour. Mineral.*, 10, 497-504.
- 都城秋穂 (1959) : 阿武隈、領家および三波川変成帯。地質学雑誌, v. 65, 624-637.
- 都城秋穂 (1961) : 岩石の変成作用。“地球の構成”(坪井忠二編), p.243-268, 岩波書店, 東京。
- 都城秋穂 (1965) : 変成岩と変成帯, 458 p., 岩波書店, 東京。
- Miyashiro, A. (1961) : Evolution of metamorphic belts. *Jour. Petrol.*, 2, 277-331.
- Okay, A.I., Xu, S. and Sengor, A.M.C. (1989) : Coesite from the Dabie Shan eclogites, central China. *European Jour. Mineralogy*, 1, 595-598.
- Smith, D.C. (1984) : Coesite in clinopyroxene in the Caledonides and its implications for geodynamics. *Nature*, 310, 641-644.
- Sobolev, N.V. and Shatsky, V.S. (1990) : Diamond inclusions in garnets from metamorphic rocks; a new environment for diamond formation. *Nature*, 343, 742-746.
- Wang, X., Liou, J.G. and Mao, H.K. (1989) : Coesite-bearing eclogite from the Dabie Mountains in central China. *Geology*, 17, 1085-1088.
- Wang, X., Zhang, R. and Liou, J. G. (1995) : UHPM terrane in east central China. In: *Ultrahigh Pressure Metamorphism* (eds Coleman, R. G. and Wang, X.) Cambridge Topics in Petrology, p. 356-390, Cambridge University Press, Cambridge.
- Yang, J. and Smith, D.C. (1989) : Evidence for a former sanidine-coesite-eclogite at Lanshantou, Eastern China, and the recognition of the Chinese 'Su-Lu coesite-eclogite province', East China. *Terra Nova Abstracts*, 1, 26.
- 叶 凱・平島崇男・石渡 明・郭 敬輝・翟 明国 (1996) : 青島仰口榴輝岩中粒間柯石英の発現及其意義。科学通報, 41, 1407-1408.

BANNO Shohei and ENAMI Masaki (2002) : Ultra-high pressure metamorphism: Correspondence with interior of the earth - 1.

< 受付 : 2001年12月19日 >