

特集

日本の深海底に眠る 鉱物資源を探せ!

— ふたたび日本を資源大国へ

サイエンス・インタビュー

日本列島の成り立ちを 四万十帯の調査から解き明かす

海洋研究開発機構理事長 平朝彦

新連載

日本の国立公園

国立公園がもたらすもの ~その歴史と役割~

C O N T E N T S

「milsil(ミルシル)」について
「milsil(ミルシル)」の「mil(ミル)」は「見てみる」「聞いてみる」「やってみる」の「ミル」。そのような「ミル」から、新たな、そして豊かな「sil(シル=知る)」が得られるでしょう。この雑誌とともに、皆様が楽しい「ミルシル」体験をされることを願っています。

3 サイエンス・インタビュー 科学のいま、そして未来
日本列島の成り立ちを四万十帯の調査から解き明かす
平 朝彦 (海洋研究開発機構理事長)

6 【特集】日本の深海底に眠る鉱物資源を探せ!
—ふたたび日本を資源大国へ—
[監修] 加藤 泰浩 (東京大学大学院工学系研究科 教授)

6 いま、なぜ海洋鉱物資源なのか?
加藤 泰浩 (東京大学大学院工学系研究科 教授)

8 有用金属元素の宝庫、海底熱水鉱床を探す
中村 謙太郎 (東京大学大学院工学系研究科 准教授)

11 人工熱水孔上にチムニーが急成長
—海底熱水鉱床を養殖する—
野崎 達生 (海洋研究開発機構 海底資源開発センター 資源成因研究グループ グループリーダー代理)

13 海底に広がる“マンガンと鉄の黒い塊”
—マンガンクラストとマンガンノジュールの分布と成り立ち—
町田 嗣樹 (海洋研究開発機構 次世代海洋資源調査技術開発プロジェクトチーム 特任技術研究員)

17 第4の海底鉱物資源・レアアース泥の探査・成因研究の最前線
安川 和孝 (東京大学大学院工学系研究科 助教)

20 標本の世界
弥生時代の英雄? シャーマン? 土井ヶ浜124号人骨の謎
大藪 由美子 (土井ヶ浜遺跡・人類学ミュージアム学芸係長)

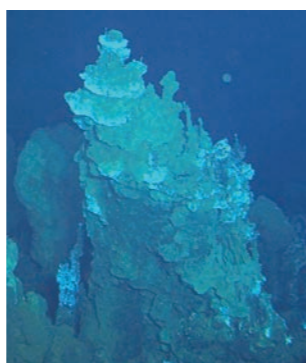
22 日本の国立公園 第1回
国立公園がもたらすもの ~その歴史と役割~
河野 通治 (環境省自然環境局国立公園課課長補佐) 執筆協力

26 親子で遊ぼう! 科学冒険隊
#57 簡易カイロと瞬間冷却バックで温度変化を体験しよう
金子 茂 (サイエンスライター/元 板橋区立教育科学館館長) 監修

30 色の世界 —色の科学がおりなす景色— 第9回
温度によって色が変わるインクのしくみ

32 NEWS & TOPICS
世界の科学ニュース & おもしろニュースを10分で

34 milsil カフェ / 編集後記 / 定期購読のお知らせ / 次号予告



海底にある熱水鉱床は近年、熱水を噴出するとき有用な金属元素を大量に堆積するので、貴重な海底鉱物資源として注目されています。



表紙写真
南鳥島南東部で発見されたマンガンノジュールの密集地帯。左下には単位面積あたりのマンガンノジュールの量を調べる「コデラート」とよばれる計測器の四角い枠が見えます。右上は調査を行った有人潜水調査船「しんかい6500」です。

© JAMSTEC

日本列島の成り立ちを しまんとたい 四万十帯の調査から解き明かす

「四万十帯」という地層を知っていますか。日本列島の南岸に沿って赤石山脈から沖縄まで連なる、約1500 kmにも及ぶ帯状の大きな地層群です。四万十帯には、ほかの多くの地層には見られない特徴があり、その成因は長く謎に包まれていました。その謎を解明し、四万十帯がプレート境界でできる付加体(本文参照)であることを実証したのが平朝彦先生です。四万十帯の成因解明以後、日本各地の地層群の研究も進み、日本列島の大部分が付加体から成ると考えられるようになりました。平先生に、少年時代や学生時代のお話から最近のご研究内容についてまで、伺いました。

■化石集めから始まった
地層・地質への興味
子どものころは、どのようなことに
興味がありましたか。

私が育った家の近くに、仙台と山形を結ぶ仙山線が通っていて、線路沿いには切り通しの崖がありました。そこには見慣れない貝などの化石がたくさん出る地層があったので、小学生のころから化石をたくさん集めていました。父は東北大学で日本史の教師をしていたのですが、父の隣の部屋が畑井小虎先生という化石の研究者でした。それで私は父に勧められ、畑井先生を訪ねていきました。畑井先生はアメリカから帰国したばかりで、よく整頓された引き出しを開けると、見たこともない化石がたくさん入っていて圧倒されました。

一方、そのころ松島湾(宮城県)で貝塚が発掘されていて、父には、貝塚を掘ったり出土したものを観察したりする現場にも何度も連れていってもらいました。地層を剥ぎ取りながら時間をさかのぼって歴史が明らかになるスリル感が子ども心にもよくわかり、将来は地質学か考古学の研究者になりたいと漠然と思っていました。

高校ではヨット部に入ってヨットに夢中でした。部品や道具の発注、ペンキ塗

り、合宿の手配...などもみんなで協力して行っていました。現在の理事長のマネジメントとは異なりますが、その類いのことを高校の時に始めていたような気がします。

大学、大学院ではどのようなことを研究されたのですか。

進学した東北大学では理学部地質学古生物学教室に入りました。そのころは化石よりも、地層形成のメカニズムに興味を惹かれていました。卒業論文は新潟県の長岡市に近い山をフィールドにして、地質図をつくるのが課題でした。当時の大学は自由奔放で、フィールドに真実があって机上に真実はないといった空気に満ちていました。ですから、皆あまり授業には出ないで思い思いに研究をしていました。

卒業後は大学院に進むと決めた時、進学先をアメリカにしました。留学先は、テキサス大学のグラス校です。新たなキャンパスとしてオープンし、大学院生を募集していたのです。しかし、いざ行ってみると、野原に1棟だけ建物があって、最初の大学院生は私を含め6人しかいません。そこで先生の補助をして奨学金をもらいながら、地層の堆積メカニズムの研究生活を始めることになりました。そ



海洋研究開発機構理事長

平朝彦 たいら あさひこ

1970年東北大学理学部地質第一学科卒業。1976年米国テキサス大学大学院博士課程修了。Ph.D. 高知大学理学部助教授、東京大学海洋研究所教授、海洋研究開発機構地球深部探査センター長(初代)などを経て、2012年より現職。地球深部探査船「ちきゅう」の運営および同船を用いた各種研究を統括するなど幅広い活動を行っている。日本学士院賞受賞。

の先生と私の年齢差は3歳。米国プリンストン大学で若くしてドクターになった優秀な方でした。先輩・後輩のような関係で、実験室から一緒につくるなど、とても勉強になりました。

■高知で「四万十帯」の探求に情熱を傾ける

留学を終えて日本に戻った後、高知大学へ行かれるのですか。

5年間のテキサスでの研究生活を終えて東北大学に戻りました。その直後、高知大学の甲藤次郎先生から声が掛かり、1年目は文理学部の助手、2年目からは新設された理学部の助教授として採用されることになりました。自分の研究室をもつという夢がかない、さっそく実験室を



図1 四万十帯の分布域と「メランジュ」
四万十帯のあちこちには、できた年代も場所も異なるさまざまな堆積物が混在する「メランジュ」とよばれる層が見られる(写真)。メランジュはフランス語で、かき混ぜるという意味。
写真：平朝彦

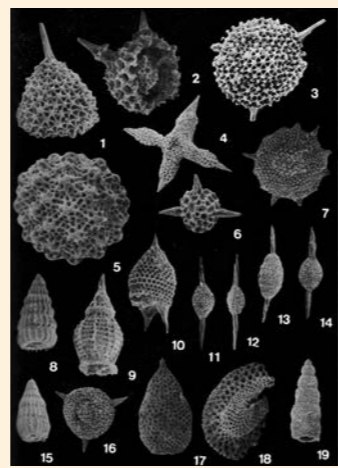


図2 四万十帯から見つかった放射虫化石の走査型電子顕微鏡写真
フッ化水素で周囲の岩石を溶かし、放射虫の殻だけを取り出した。
[四万十帯の地質学と古生物学—甲藤次郎教授還暦記念論文集—]
(平朝彦・田代正之編集、林野弘済会高知支部発行) Plate 23 を転載
写真：岡村賢

整えて、自作の水槽で水中を流れる乱泥流の研究を始めました。

一方、甲藤先生は「四万十帯」の研究で有名でした。四万十帯とは、赤石山脈、紀伊半島、四国、九州を経て南西諸島まで伸びる帯状の地層群です。その大部分は、比較的単調な砂岩泥岩互層(タービダイト)から成りますが、地層の変形が著しく、化石の産出が少なく地層のつながりを追跡するのに適した鍵となる層も見られないため、謎の地層群とされてきました。約1億3000万年前の白亜紀以降の地層群から成り、おおよそ北へ行くほど古い層が分布していることはわかっていたのですが、詳細な時代、堆積環境、地質構造などは未解明でした(図1)。

そこで私は先生の論文などを読み始めたのですが、すっかりしませんが、先生にそう伝えると、学生の野外実習を兼ねて四万十帯の見られる場所へ毎週のように連れて行ってくださいました。それまで私は、水平に整然と堆積してできる地層の研究をしていました。ところが、四万十帯には、ぐじゃぐじゃになった地層(メランジュ)があちこちに見られるのです。特に高知県の海岸で見られる地層は、堆積した当時の形状を成していません。なぜ地層がこんな姿になるのか、私にはまったく理解できません。甲藤先生に、本格的に四万十帯の研究をしたいと申し出ると、「好きなようにやってみな

さい」と言ってくださり、本腰を入れることになりました。高知に赴任してちょうど1年ほど経ったころでした。

四万十帯の謎を、どのような方法で解き明かそうとされたのですか。

私は、2つの目標を立てました。一つは、四万十帯全域で、放射虫化石を用いた「地層の年代測定」です。放射虫は、0.2~0.5mmの珪酸質の殻をもつ微生物で、先カンブリア時代から現代に至るまでの広い範囲の地層から化石が発見されます。形態が多様で種の入れ替わりが速いため、示準化石^{※1}となります。四万十帯にも放射虫の化石が含まれていたため、1万個以上の岩石の試料を調べました。1万個のうち放射虫が出る化石は約1割、さらにそのなかで年代決定が可能な放射虫化石は2割程度でしたが、四国内で200余りの試料について、かなり精度よく年代を判定することができました(図2)。

もう一つは、古地磁気学を応用し、地層が堆積した緯度を調べることです。火成岩や堆積岩には、過去の地磁気の状態が化石として保存されています。火成岩は、マグマが冷えて固まるときに中に含まれる磁性鉱物が、その時の地球磁場の方向に磁化し、磁気化石(残留磁気)をもつこととなります。堆積岩では、磁性鉱物が堆積し固まるときに地球磁場の方向に配列し残留磁気を保持します。現

在の北極では、磁針のN極は下を向き、赤道では磁針が水平になり、南極ではN極は上を向きます。したがって岩石に記録された残留磁気の水平面に対する角度(伏角)がわかれば、その岩石が形成された場所の緯度がわかります。岩石の水平面は、地層の積み重なる境界(層理面)が示しています。その結果、四国各地の白亜紀の層では、枕状溶岩^{※2}やそれに挟まれる赤茶色の石灰岩^{※3}は、赤道付近で形成されたことがわかりました。一方、砂岩泥岩互層は、北緯30度ぐらいのところでは形成されたことがわかりました。北緯30度というと、現在の高知県の緯度とほぼ同じです。

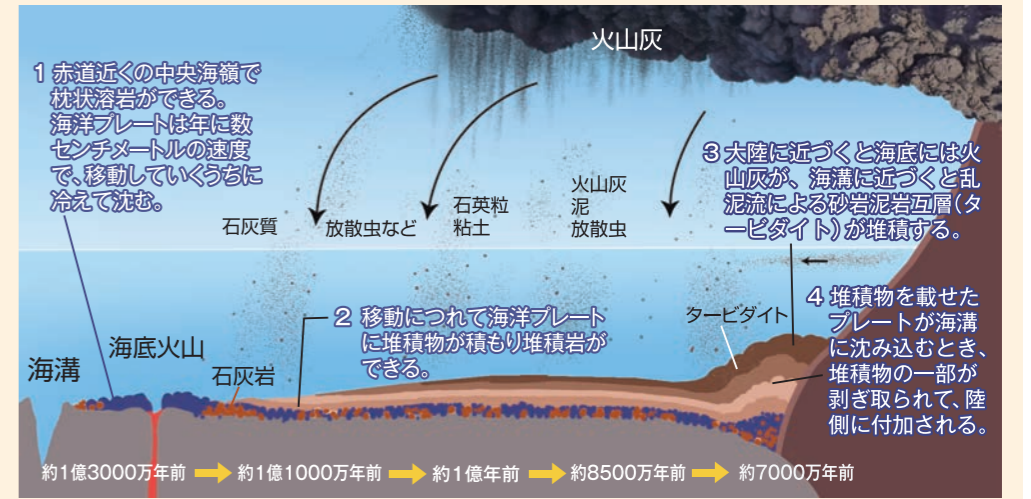
2つの調査から、どのようなことが明らかになったのですか。

こうした測定結果を学生と地図に書き込んでいくうちに、四万十帯の全貌が明らかになっていきました。5年ぐらいかかりましたが、四万十帯の正体はプレートの沈み込みによる付加体であることがわかりました。すなわち、四万十帯は、中央海嶺でつくられたプレートが枕状溶岩や堆積物を載せながら長い距離を移動し、海溝で沈み込むときにその一部が剥ぎ取られることによってできたのです(図3)。

このころ、プレートテクトニクス^{※4}は基本的には確立されていましたが、海溝のようにプレートが沈み込むところで起こっていることはほとんど謎でした。プ

図3 付加体と四万十帯の形成メカニズム

付加体は、海洋プレートが海溝で大陸プレートの下に沈み込むときに、海洋プレート上の堆積物や海山の一部が海底にたまった土砂とともに剥ぎ取られ、陸側に付け加えられたもの。四万十帯は付加体の地層が隆起したものの。付加体では、古い地層の下に新しい地層が、できた順に下に押し込まれていく。さらに付加体が陸側に押しつけられる過程で、断層が起こったり、地層が傾いたりしていくうちに、堆積物が不規則に混じり合うメランジュも形成される。こうしてできた地層が隆起して陸上で見られるのが四万十帯。



レートが沈み込むときに、堆積物が剥ぎ取られるのではないかと概念的なモデルはいくつか提示されていましたが、それが陸上の露頭などでどのように見えているのかについては誰も示すことができていませんでした。目の前にあるこの岩がプレートに載って3000kmも移動してきたのだと言った人は、私の前には誰もいなかったのです。ですから、四万十帯の謎が解けてきたときには、こんなに楽しいことはないと感じる毎日でした。

■ 科学研究とマネージメントを両立させる

その後、海底の掘削に力を注がれることになるのですね。

四万十帯の研究は、海底のプレート上で起こったことを、露頭の観察をもとにイメージする過去のプロセスの復元でした。実際に海底を調べれば四万十帯で描いていた概念が一つ一つ実証できるだろうと考え、東京大学海洋研究所(現 東京

大学大気海洋研究所)に移って南海トラフ^{※5}の研究を始めました。1990年にはアメリカの深海掘削船「ジョイデス・レゾリューション」号で、本格的な南海トラフの掘削を行いました。船の性能に限界があつてうまく掘れないのです。このころから、プレートが沈み込む場所の調査は、日本がリーダーシップをとらなければならぬと思うようになりました。日本の海洋学のリーダーだった奈須紀幸先生を中心に協力体制を広げ、多くの方々の努力が実り、2005年に海洋研究開発機構の地球深部探査船「ちきゅう」が竣工しました。船は、その運用も重要です。船を有効に活用するため、所属を移り「ちきゅう」を運用する地球深部探査センター長になりました。科学の推進には、研究とマネージメントが必要で、一人が両方の役割を担うこともありだと私は思います。私はマネージメントが嫌いではないし、一人でやるよりみんなでやった方が楽しいと

思うタイプでもあります。現在は理事長という立場で、サイエンスと技術がどのように一体化して進むべきか常に考えています。「ちきゅう」で掘削をするときには、周囲の人たちだけでなく、広く国民を納得させる最先端の課題を提示できなければならぬと思うのです。

「ちきゅう」は海底地質や地震断層などにかかわる掘削を行ってきましたが、そのなかで深海の堆積物中に生息する「地下生命圏」の探求は、特に私の興味を惹きました。今後の研究で、生命科学や地球科学は大きく変わると予感しています。その現場にいること自体にワクワクしています。 □

※1 示準化石…その化石が含まれる地層が堆積した地質年代を示す化石。
※2 枕状溶岩…中央海嶺でプレートができる場所など、海底火山から玄武岩質のマグマが噴き出すときに固まってできた溶岩。枕や俵を束ねたような形をしている。
※3 赤茶色の石灰岩…石灰質の殻(コリス、円石)をもつ植物プランクトンの遺骸から成る。
※4 プレートテクトニクス…地震、火山などの地殻運動を、多くのプレートの動きによって統一的に説明する理論。
※5 南海トラフ…四国の南の海底にある水深4000m級の深い溝(トラフ)。ここでフィリピン海プレートがユーラシアプレートの下に沈み込んでいる。

自分が納得できるような生き方をしてほしい!

山や海に行って自然を観察したり、実験や測定をしたりすることだけがサイエンスではありません。人間同士が会いお話しをすることによって、自分がどのように生きていくかを考えるのも、サイエンスに通じることだと思います。ですから、勉強やスポーツ、友達付き合いなども含め、自分が日々行っていることをしっかり見つめ、自分の行動や姿勢に納得できるような生き方をしてほしいです。そういうことがサイエンスのいちばんベースにあると私は感じています。われわれの周りには人間以外にも、動植物などの生物、鉱物や大気などの無生物など、森羅万象があります。それらすべてに対しても、いい加減に向き合わず、自分はどう思うか、どう考えるか、焦らずに納得しながら進んでいってください。

