

地球化学 77, 1-9 (2043)

Chikyukagaku (Geochemistry) 77, 1-9 (2043)

**2043年の仮想的「地球化学」誌**

**日本地球化学会60周年記念企画  
2043年の「地球化学」想定論文集**

田中 剛\*・加藤丈典\*・蒲生俊敬\*\*・植松光夫\*\*  
「地球化学」編集委員会\*\*\*

\*名古屋大学年代測定総合研究センター 〒464-8602 愛知県名古屋市千種区不老町

\*\*東京大学大気海洋研究所 〒277-8564 千葉県柏市柏の葉5-1-5

\*\*\*広島大学大学院理学研究科 〒739-8526 広島県東広島市鏡山1-3-1

本60周年記念号では、2043年の宇宙地球化学を予測し、こんな成果が生まれたら素晴らしい、ということを用意して頂き、それをまとめた想定論文の執筆を何人かの先生方に依頼した。最終的に以下に掲載の3つの想定論文をご執筆頂くことができた。これらは架空の内容ではあるが、一読するだけで30年後の地球化学に夢を馳せることができる内容になっている。同時に、30年後の日本や世界がどのようなになっているかを思い描きながら、これらをお読み頂ければ幸いである。

**Collection of assumed papers published in Chikyukagaku in 2043**

Tsuyoshi TANAKA\*, Takenori KATO\*, Toshitaka GAMO\*\*,  
Mitsuo UEMATSU\*\*, Editorial Committee of Chikyukagaku\*\*\*

\* Center for Chronological Research, Nagoya University  
Cikusa, Nagoya, Aichi 464-8602, Japan

\*\* Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo  
5-1-5 Kashiwanoha, Kashiwa, Chiba 277-8564, Japan

\*\*\* Department of Earth and Planetary Systems Science  
1-3-1 Kagamiyama, Higashi-Hiroshima, Hiroshima 739-8262, Japan

論文 1

**Allende 隕石マトリクス中に  
56.7億年の年代を持つ  
先太陽系 Ba(Ti·Th)O<sub>3</sub>微粒子の発見**

田中 剛・加藤丈典

**The discovery of pre-solar Ba(Ti·Th)O<sub>3</sub>  
particulate with 5.67 Ga age  
in the Allende meteorite**

Tsuyoshi TANAKA and Takenori KATO

A pre-solar particle with 5.67 Ga Th-Pb CHIME

age has been discovered in the Allende meteorite. A field-emission type Nano-EPMA was used for the analysis. The particle is 150 nm in size and has chemical composition of Ba(Ti·Th)O<sub>3</sub>. Rim of the particle shows 4.56 Ga age indicating overgrowth at the time of solar condensation.

**Key words:** Pre-solar particulate, Allende meteorite, CHIME dating, Barium titanate, Nano-EPMA

1. はじめに

宇宙は、137億年前に始まり、太陽系は45.6億年前に凝縮、原始微惑星が形成されたと考えられている。Pb-Pb年代と消滅核種を組み合わせても、45.7億年を

遡る絶対年代を持つ物質は知られていない (Gilmour, 2002)。一方、その物質の同位体組成が太陽系内の核反応では起こり得ず、超新星や AGB 星の環境で期待される値を持つ、始源的隕石のマトリクスから分離された、SiC やグラファイトは、先太陽系物質であると受け入れられている。しかし、その  $\mu\text{m}$  以下の小さなサイズゆえに、絶対年代の測定には至っていない (坂本, 2008)。また、超新星や AGB 星からの放出物は、水素が少ない酸化的环境下での凝縮が期待される事から、セリウムが存在異常をもつ CAI に  $^{138}\text{La}$ - $^{138}\text{Ce}$  放射壊変系を  $^{147}\text{Sm}$ - $^{143}\text{Nd}$  法と同時に適用した年代測定も試みられているが、いまだ先太陽系の確実な結果は得られていない。

CHIME 年代測定法 (Chemical Th-U-total Pb isochron method) は、Suzuki and Adachi (1991) によって創案され、Suzuki and Kato (2008) によって改良されて以来40年、その微小領域での測定が可能な優位性と EPMA を用いる利便性を生かし、世界中の研究機関でひろく利用されてきた。本研究では、X線検出に、シリコン半導体検出器をマイクロカロリー検出器に置き換え、改良されたフィールドエミッション型 Nano-EPMA を用いて、トリウムに富む  $\text{BaTiO}_3$  の CHIME 年代測定を行い、先太陽系年代の測定に成功したので、報告する。

## 2. 試料

試料の全体像を Fig. 1a に、先太陽系粒子近傍の拡大を Fig. 1b に示す。本研究では、Fig. 1a に写真を示したほぼ全面の Th-M<sub>α</sub> と U-M<sub>β</sub> 線を従来型の

EPMA で  $5\ \mu\text{m}$  ステップで延べ約380日をかけて面測定することにより見いだされたトリウム高濃度領域を、新たに開発されたフィールドエミッション型 Nano-EPMA により、 $5\ \text{nm}$  ステップで精査することによって得られたものである。周囲の鉱物は、マトリクスを構成するカンラン石である。

## 3. 分析手法

分析には、名古屋大学年代測定総合研究センター宇宙年代学部門に設置されている、フィールドエミッション型電子銃と7個のマイクロカロリメーター検出器及び波長分散型分光器を備えた Nano-EPMA を用いた。試料形状を考慮し、パーティクル分析や薄膜分析の技術を応用することによってエックス線発生領域を制御している。これにより、サブミクロンスケールの高トリウム粒子の高空間分解能分析が可能になった。

通常の EPMA 分析では表面が研磨された均質な試料に垂直に電子線を照射することを前提として補正計算を行うが、Nano-EPMA 技術ではその前提が成立しない。そこで、Kato (2007) で用いたモンテカルロシミュレーションアルゴリズムを改良し、高トリウムサブミクロン粒子と電子の衝突プロセスを再現した。その結果をもとに、Kato (2005) の補正係数を改良することにより、高精度定量分析が実現された。

## 4. 結果および考察

測定結果をアイソクロン図として Fig. 2 に示す。今回見いだされた先太陽系粒子は、内部程高いトリウム

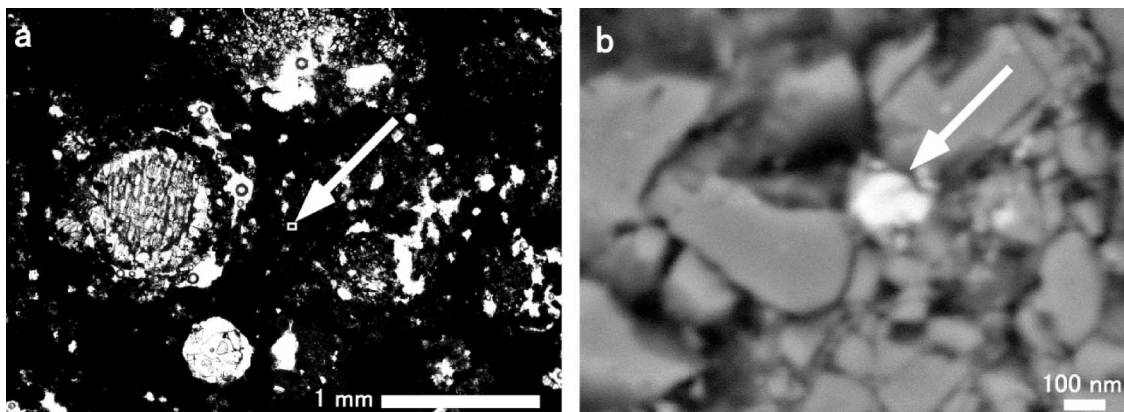


Fig. 1 a: Whole view of the polished thin section in transmitted light of the Alende meteorite. A pointed part with arrow is enlarged in b. b: Back-scattered electron image around pre-solar  $\text{Ba}(\text{Ti} \cdot \text{Th})\text{O}_3$  particle with age of 5.67 Ga.

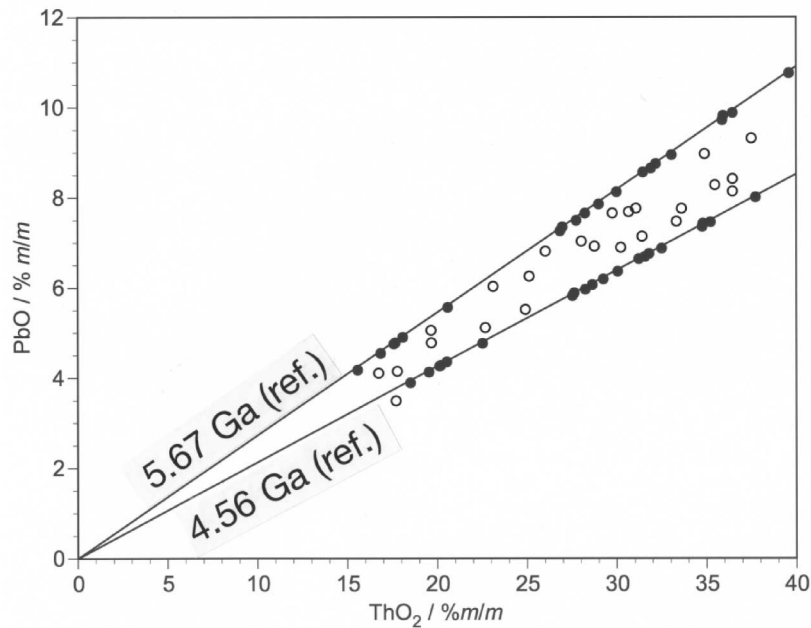


Fig. 2 Th-Pb CHIME isochron plot of the pre-solar particle. The data indicating with solid symbol are used for age calculation.

存在度を示す。粒子内に1000 ppm を超えるウランは検出されなかった。データがばらついているのは、測定誤差ではなく、粒子自体がより小さな微粒子の集合体から形成されていることによるゆらぎと考えられる。より古い19の測定点から得たアイソクロン年代は、 $5.67 \pm 0.04$  ( $2\sigma$ ) Ga である。これは、明らかに4.56 Ga より古い先太陽系年代を示す。鉛の少ないグループはバラツキが大きいものの4.56 Ga の年代を示すものが多い。これは、2次的な鉛の散逸（あるいは、新たな  $\text{Ba}(\text{Ti} \cdot \text{Th})\text{O}_3$  の付着成長）が4.56 Ga、すなわち太陽系形成時におこったことを示している。

U-Pb 年代測定法や、Sm-Nd 年代測定法など複数の同位体を持つ核種を用いて放射年代を算出する時には、放射壊変に関係した同位体（たとえば $^{148}\text{Nd}$ ）だけでなく、比を出すための安定同位体（たとえば $^{144}\text{Nd}$  や更には Sm）が必要である。太陽系内の物質は、その安定同位体比は均質とみなされるので、質量分析計で $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  を測定すれば十分であったが、先太陽系物質の場合は、全同位体組成の検証が必要である。しかし、本研究に用いたトリウムは、 $^{232}\text{Th}$  のみの単核種であるので、親元素の同位体組成を考慮する必要がない。さらに、アイソクロンが原点を通る事から、初生鉛量を無視できる。

本研究で見いだされた先太陽系粒子は、その元素分析からバリウムとチタン+トリウムを等モル含む Ba

$(\text{Ti} \cdot \text{Th})\text{O}_3$  の組成を持つと考えられる。Tanaka and Okumura (1977) によって報告されたように、この粒子は、CAI の中にはなく、隕石マトリクスの中に見いだされた。これは、この微粒子が太陽系星雲中でペロブスカイトなどの高温凝縮鉱物と共に生成したものではなく、バリウムの多い、バリウム星 (AGB 星の一つ) の希薄な放出大気の中で生成し、その誘電体としての性質が、ナノメートルサイズの粒子に合体成長させたと考えられる (Masuda and Tanaka, 1977)。その比較的低温場にあった事が、鉛の散逸を免れ、先太陽系年代が保存された要因であろう。

本研究では、56.7億年の先太陽系粒子の存在を報告した。太陽系は、その各種同位体の組成から、約60種類の元素合成の合作であると考えられている。それぞれが独自の年代を持つなら、60通りの年代事象が期待される。そしてそれぞれの年代時期における核合成過程が明らかになれば、宇宙が形成されて以来の歴史と太陽系一家の家系を明らかにし得ることとなる。

謝 辞

名古屋大学年代測定総合研究センターの鈴木和博名誉教授と JAMSTEC の若木重行博士及び匿名の査読者には粗稿をお読み頂き、誤りのご指摘をいただいた。

引用文献

Gilmour, J. (2002) The solar system's first clocks. *Science*, **297**, 1658–1659.

Kato, T. (2005) New accurate Bence-Albee  $\alpha$ -factors for oxides and silicates calculated from the PAP correction procedure. *Geostandards and Geoanalytical Research*, **29**, 83–94.

Kato, T. (2007) Monte Carlo study of quantitative electron probe microanalysis of monazite with a coating film: Comparison of 25 nm carbon and 10 nm gold at  $E_0=15$  and 25 keV. *Geostandards and Geoanalytical Research*, **31**, 89–94.

Masuda, A. and Tanaka, T. (1977) How did barium titanate particulates stick together in the nebula? *Nature*, **267**, 231–233.

Suzuki, K. and Adachi, M. (1991) Precambrian provenance and Silurian metamorphism of the Tsubonosawa paragneiss in the South Kitakami terrane, Northeast Japan, revealed by the chemical Th-U-total Pb isochron ages of monazite, zircon and xenotime. *Geochemical Journal*, **25**, 357–376.

Suzuki, K. and Kato, T. (2008) CHIME dating of monazite, xenotime, zircon and polycrase: Protocol, pitfalls and chemical criterion of possibly discordant age data. *Gondwana Research*, **14**, 569–586.

Tanaka, T. and Okumura, K. (1977) Ultrafine barium titanate particles in the Allende meteorite. *Geochemical Journal*, **11**, 137–145.

坂本尚義 (2008) 元素の同位体異常. 松田准一・坂本尚義共編, 地球化学講座 第2巻「宇宙・惑星化学」. 培風館, pp. 82–111.



論文 2

**2030年から2040年の長期観測に基づく、  
沖縄トラフ海底熱水、対馬暖流、  
および日本海の海洋環境を結ぶ  
動的リンケージの解明**

蒲生俊敬

**Dynamic linkage among the Okinawa Trough  
hydrothermal activity, Tsushima Warm  
Current, and the Japan Sea environment,  
as revealed from long-term in situ  
measurements between 2030 and 2040**

Toshitaka GAMO

Recent advances in water column observation techniques with greater precision and more spatiotemporal coverage have been revealing various unknown linkage or interaction among physical, chemical, and biological processes in the ocean. This study has recovered time-series in situ data of physicochemical tracers these 10 years between 2030 and 2040 using state-of-the-art submarine gliders deployed in a wide area from the Okinawa Trough to the Sea of Japan. It was demonstrated that the temporal variation of the Okinawa Trough hydrothermal activity plays a surprising role in controlling the behavior of surface currents, Kuroshio and Tsushima Warm Current, which further affects the primary production and possibly deep convection pattern in the Sea of Japan.

**Key words:** Long-term in situ analyses, Submarine glider, Okinawa Trough hydrothermal activity, Tsushima Warm Current, Sea of Japan

1. はじめに

一般に海洋環境は、長い時間をかけて定常状態に到達し維持されてきたと考えられるが、ローカルな視点から見ると、様々な時空間スケールで変動を繰り返している。19世紀の産業革命後には、人為的な地球環境変化も加わり、変動パターンが複雑化している。IPCC 予測を上回るペースで地球温暖化が進みつつある現在、海洋環境の現状把握と将来予測はその重要性をますます高めている。

本研究では、我が国に接する大陸縁辺海域（東シナ海、日本海）に着目し、約10年間にわたって、海洋の物理学・化学・生物学にまたがる学際的な視点から、長期現場観測と研究船による繰り返し観測を実施した。その結果、沖縄トラフ海底熱水活動、黒潮・対馬暖流系、および日本海の海洋環境の間に、従来知られていなかった動的なリンケージがあることを見いだしたので報告する。

2. 観測と実験

各種現場機器・センサー類と、高性能浮力エンジンを搭載したクリーン耐圧仕様（セラミックス製）の水中グライダー（通称「統合深海モニタリンググライ

グー (Integrated Deep-sea Monitoring Glider: IDMG)』20基を、2030年から2040年にかけて日本近海に同時展開した。測定項目は、海水の流向・流速・温度・塩分・濁度・クロロフィル a・溶存ガス群 (同位体比を含む)・栄養塩 ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{PO}_4$ ,  $\text{NO}_3$ )・pH・鉄(II)・鉄(III)・マンガン等である。IDMGは高度に知能化された深海用グライダーで、予め設定した定点付近において、海洋表面から海底直上まで1日1往復の頻度で浮上・下降を繰り返し、取得した鉛直分布データは、浮上の際に人工衛星経由で陸上基地に転送する。

観測位置は、Fig. 1に示したように、沖縄トラフ熱水活動域 (第四与那国海丘域、鳩間海丘域、伊是名カルデラ、伊平屋海域、南奄西海丘域に計10基投入)、九州南西海域 (3基)、対馬海峡 (2基)、および日本海 (対馬海盆、山陰沖、大和海盆、佐渡沖、東部日本海盆に5基)とし、各観測点は漁業水域から十分距離を保った。観測点の多くは黒潮または対馬暖流の流軸に沿っている。沖縄トラフ観測点では、熱水に由来する化学フラックスと熱水ブルーム分布の刻々の変化を追跡し、熱水活動の時間変動パターンを詳細に観測した。また九州南西方の観測点では、黒潮の分岐 (トカ

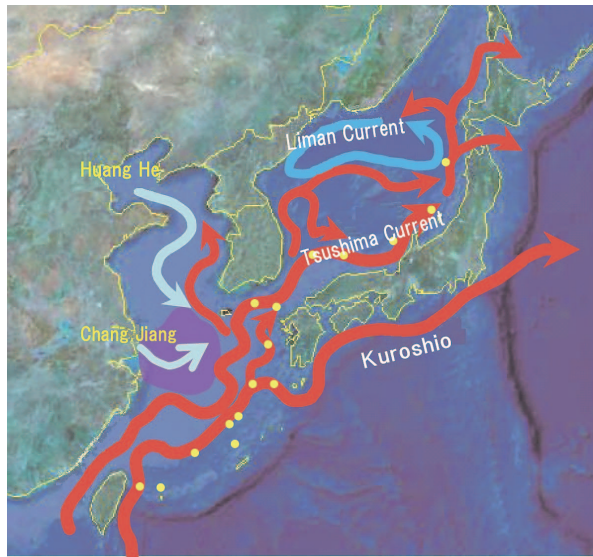


Fig. 1 A map showing the locations (yellow circles) of IDMG observation in this study, together with major surface currents around the Japanese archipelago. The original map was reproduced by courtesy of Dr. Tomoharu Senjyu, professor emeritus of Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University.

ラ海峡から本州南方へ東進する黒潮本流と対馬海峡へ向かう支流とに分離する) 状況に注目した。

IDMGのペイロードスペースに搭載した機器は、小型高精度CTD, ADCP, 流向・流速計, 濁度計, アルチメーター, 各種マイクロセンサー, 現場ガス分析装置, 現場レーザー分光同位体分析装置, 改良型GAMOS, これらの作動を統括制御する電子回路・一時データ格納メモリ, および位置確認用GPSとイリジウム通信装置である。近年のマイクロデバイス技術を駆使して機器は極力小型化し, またセラミックス製耐圧容器を用い軽量化した。ペイロード機器の総水中重量は約10 kgである。化学パラメーター計測は現場において標準物質による感度補正を行った。また年1回のペースで, 白鳳丸 (3代目) または新青丸による巡回航海を実施し, IDMGのメンテナンス (グライダーの作動確認, 搭載機器への試薬・標準物質の補充, センサー部の交換, 補助電池の充電など) を行った。その際, 同位置でNiskin採水を行い, 分析データの相互比較によって現場分析データの信頼性を確認した。

### 3. 結果と考察

20点のIDMG観測域のうち7点で10年間のフルセットデータがほぼ欠測なく回収された。その他の13点では, グライダーの作動不良あるいは搭載機器の故障等により短期間の欠測が生じた。総データ回収率は約80%である。表層水の $\Sigma\text{CO}_2$ 増加や酸性化など, ごく一般的な環境パラメーターについては, 政府機関によるグリッド観測データと整合する結果を得ているがここでは省略する。

観測期間中, 低気圧の通過等により海況悪化が見込まれる場合は, 表面浮上をスキップする信号を適宜IDMGに送り事故を予防した。それでも10年間に3基のIDMGが行方不明 (通信不能) となった (その都度, 予備のIDMGを同一海域に追加投入)。これはグライダー制御機構の故障, 予測できないローカルな海況不良, あるいはダイオウイカなど大型生物や船舶との接触等による破壊が原因と推定される (うち1基は, 大破した状態で室戸岬沖合を漂流中のところ, 震災復興調査航海中の新青丸によって回収された)。

#### 3.1. 沖縄トラフ熱水活動

熱水ブルームの指標成分として, 水温, 塩分, 濁度,  $\Sigma\text{CO}_2$ および $\text{CH}_4$ 濃度と炭素同位体比, pH, 全炭酸, 鉄(II), およびマンガンのデータを総合的に解

析した。常法により、熱水活動のレベルを示す「熱水活動指数」を各測点毎に算出した。この指数の時間変動パターンは測点毎に様々であるが、定常的な活動が維持されている測点と、大きな時間変動（盛衰）を示す測点とに大別できることがわかった。全体として活動指数は増加の傾向にあり、特に最も北側に位置する南奄西海丘（28°23'N, 127°38'E）においては、活動指数が上昇と下降を繰り返しながら10年間では沖縄トラフの中で最も大きな増加率を示した。南奄西海丘は海底深度が比較的浅い（深度710 m）ために、活動指数の上昇による熱水プルームの影響が表層近くまで及ぶことが観測された。

### 3.2. 九州南西方海域での黒潮の分枝

九州西方を北上する黒潮分枝流の流量は黒潮本流の2~10%と大きな時間変動を示し、10年間を通してみると、明らかに増加傾向が認められた。さらに興味深いことに、北上する分枝流の増減と3.1で述べた南奄西海丘の熱水活動指数の増減との間に正の相関が認められた。これは南奄西海丘の熱水活動が黒潮の分岐プロセスに何らかの影響を与えていることを示唆している。熱水活動の活発化は、その直上を流れる黒潮に熱量と熱水由来の化学成分を余分に供給する。それがどのようなメカニズムを経て黒潮分枝流の増加を引き起こすのか、今後明らかにする必要がある。

### 3.3. 対馬海峡および日本海

これまでの海洋物理学的研究によれば、対馬海峡を経て日本海に流入する対馬暖流の主体は台湾海峡を経て北上する台湾暖流であり、これに黒潮分岐流が対馬海峡付近で合流していると考えられる（Fig. 1参照）。台湾暖流水は、大陸由来の淡水（特に長江水）が大量に混入するため、低塩分で栄養塩に富んでいる。一方、黒潮分岐流は高塩分で栄養塩に乏しい。日本海に流入する対馬暖流の塩分と栄養塩濃度は、台湾暖流と黒潮分岐流との相対的バランスで決まることから、3.2で述べた黒潮分岐流の流量変化は日本海の場合に影響を与えるであろう。

実際に日本海に展開したIDMGによるデータはこの予想を裏付けている。台湾暖流の流量変動を考慮した上で、日本海表層水のデータを解析すると、南奄西海丘の熱水活動指数の増加による影響が、黒潮分岐流及び対馬暖流の流速に対応するタイムラグを経て日本海表層水の塩分増加・クロロフィル減少として現れているように見える。また塩分の増加は、日本海北西部における高密度表層水の形成を活発化させ、日本海の

深層循環にも影響する可能性がある。今回10年間の深・底層水のO<sub>2</sub>データからその兆候を指摘できるが、確証するにはなお長期のデータ取得が必要である。

## 4. ま と め

先進的な水中グライダー技術を応用したIDMGによる海洋環境のリアルタイムモニタリングにより、東シナ海（沖縄トラフ）と日本海を結ぶ未知のリンケージを新たに発見した。30年前であれば「風が吹けば桶屋が儲かる」と一笑に付された戯言が実証されたことは驚異と言わざるを得ない。今後なお、海洋の神秘に迫るべく研究の継続が望まれる。

### 論 文 3

## 北太平洋西部海域に出現した 広域異常水塊とその影響 ——EBIPACO/HACARUDE 大気海洋観測網による速報——

植松光夫

### Regional anomaly water appeared in the western North Pacific Ocean and its impacts ——The preliminary report by EBIPACO/HACARUDE atmosphere-ocean observation network——

Mitsuo UEMATSU

At 4:05 a.m. on 23 January, 2042, a huge scale submarine volcanic eruption caused a severe earthquake. The epicenter of the earthquake was under the Kuroshio extension. Volatile substances released in large quantities by the eruption have been ascending to the surface water under the influence of seawater temperature increase and have been advecting and diffusing by the Kuroshio extension from the western to the central North Pacific. It caused also a big increase of nutrient concentration and decrease of pH. Therefore this eruption affected seriously on marine ecosystems in the surface ocean

of the North Pacific. In addition, huge amount of volcanic gases has been released into the marine atmosphere and still ongoing. The volcanic gas emission from the ocean has modified the cloud property and increasing cloud coverage over the entire North Pacific. To this end, sea surface temperature has been tending to decrease rapidly. These processes have become a trigger of suppress mode for the global warming. The spatial and temporal changes both ocean and atmosphere have been determined in real-time with high accuracy and high time resolution by the HAKARUDE project and the Musashino campaign. Based on these data, Future Earth has been forecasting by the GAICOTS under the EBIPAC program.

**Key words:** Volcanic Eruption, Transformation of seawater chemistry, Changing atmospheric composition, Trace metals, Multi-phase high vision observation network

## 1. はじめに

ここ十年来、北太平洋の各海洋区系において海洋物質循環と海洋生態系の機能を解明するために、海洋の主要元素や微量元素の三次元的分布が季節的変動も含めて明らかになってきた。データの蓄積が進むに連れて、外洋域での超クリーン採水手法によって得られた中深層水中の微量元素の濃度測定値が説明不可能な異常値を示すことが増加してきた。これは見落とされていたスモールスケールで化学物質の放出が予想以上に海洋底に数多く存在する可能性を示唆するものである。

海底火山は、陸上の火山と同様に噴火を起こすが、海水による冷却効果と水圧で大規模な噴火は少ないと考えられており、陸上に比べると、その報告例は限られていた。海洋表面での変色域の出現や、軽石の大量の浮遊など、その影響が出現しない限り、その噴火活動を把握する事は極めて困難な状態であった。海底火山から噴出される物質も、陸上と同様それぞれの噴火によって化学成分に大きな違いがあり、これらの海洋内での突発的な現象を検出するために、外洋域での表層から深層にわたる物理、化学、生物のパラメータを鉛直的にしかも密に測定する必要がある。

日本学術会議の大型研究計画で採択された「鼓動する太平洋を測るⅢ」プログラム (EBIPAC: Examine the BeatIng PACific Ocean” program III: エビパコ) のひとつである高感度・高時間分解能のリアルタイムセンサー計測 (HACARUDE: High Accuracy and Consecutive All RUBbish DEtermination: ハカルデュ) 観測と垂直離発着、空中停止可能な大型海洋観測垂直離着飛行艇 US-3「武蔵野: Musashino」による海洋と海洋大気観測からなる海洋多元的ハイビジョン観測網が整い、常時運用を開始した。その直後、2042年1月23日4時5分に発生した地震の震源は、伊豆小笠原諸島を横切る黒潮直下の大規模な海底火山噴火が原因であることが判明した。海洋衛星による画像取得は、この海域を含む広い範囲が雲に覆われ、正確な海洋表面の変化を把握する事ができなかった。また、船舶による観測は、危険海域のために広域で航行が禁止された。直ちに大気海洋観測飛行艇 Musashino が偵察、海洋センサーブイの投下を行った。同時に大気中のエアロゾルと気体成分濃度を測定した。それと連携して周辺海域の詳細な水温、塩分、化学成分の鉛直分布を HACARUDE 海洋観測網から取得した。これらを基に解析を行ったので本論文でその結果を速報する。また、ここ最近、明確な海底火山噴火の認められていない南太平洋において、今まで測定されていなかった元素を含む成分の不均一な分布を示し、海底火山噴出物質による海水組成への影響を無視できない可能性が示唆される。

## 2. 方法

25年前に海洋表層と中層の物理・化学・生物モニタリングを可能にしたプロファイリングフロート (忍者: Ninja) をさらに改良した忍者さん (Ninja-3) を600台、太平洋全域に緯度経度5度の平均間隔で定点保持させて展開し、表層および中・深層 (6000 m まで) 全層の時系列観測を行う HACARUDE 海洋観測網によって現象を追跡した。また、大気海洋観測飛行艇 Musashino による大気成分観測と同時に表層専用センサーブイを投下し、Ninja-3とともに衛星経由で水深0.1 m 毎のデータをリアルタイムでシームレスに取得した。得られたデータは、塩分、水温、溶存酸素、二酸化炭素、硝酸塩、アンモニウム、溶存態と粒子状態で存在する周期律表に存在するほとんどの元素データ、クロロフィル a, b, c, 植物プランクトン種別存在個数と量、動物プランクトン種別存在個数と

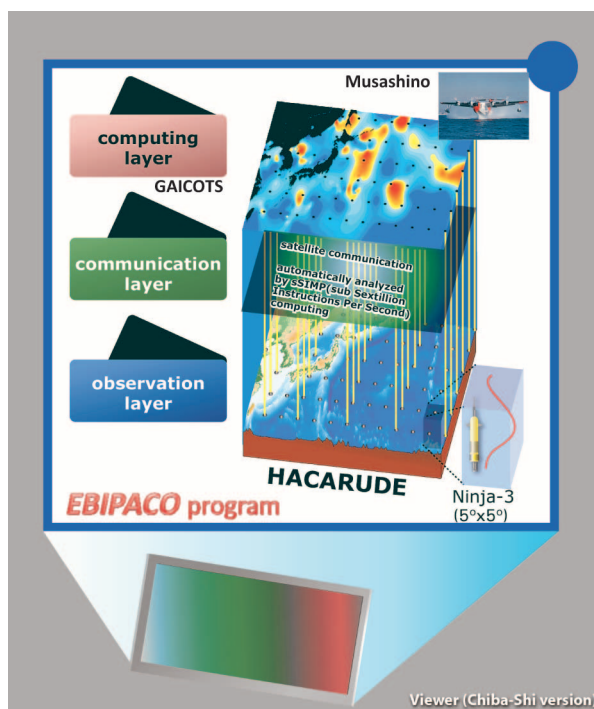


Fig. 1 General schematic concept of the EBIPACO (Examine the BeatIng PACific Ocean) program III (PI: Y. Narita)

量,海中映像,音響,臭気である。一時的ではあるが, Ninja-3を観測定点から噴出口や変色海域の周辺海域での観測を密にするために,陸上からコマンドで,移動させた。

これらのデータを直ちに御殿山に設置され稼働をはじめたばかりの京(けい:  $10^{16}$ )スーパーコンピュータ(K computer)の後継機種である新世代スーパーコンピュータ,垓(がい:  $10^{20}$ )コンピュータ(GAICOmpuTerS: GAICOTS: ガイコツ)を用いて,リアルタイムに計算値と観測値との検証を行い,数時間後から数十年に渡る海洋物理環境の変化と化学物質の火山噴火による供給,そして生物に与える影響の予報を行った(Fig. 1)。

### 3. 結果と考察

HACARUDE観測網のデータをもとに本研究では,物理・化学成分のパラメータのハイビジョン3Dアニメーションと海水中での臭気,大気中の匂いや疑似体験温度の再現にも成功した。本解析結果の詳細は,日本地球化学会会員にGeochemical Journal(すべての言語で読める)としてこの度,新たに配布された,丸めたり,折り畳み可能な1枚のオリジナル映像

紙(地球化学紙: Chiba-Shi)を参照して頂きたい。Chiba-Shiに浮かび上がる本論文題目をタッチすれば,3D眼鏡は不要で,本論文と共に立体的な各物質の分布とその移動,水中音,洋上の波音,噴気口での疑似温度や臭気を感じ取れる。また,現時点のデータも本論文のサイトでは,リアルタイムで更新され,将来予測の結果も変化していることがわかる。これらの結果と考察は,GAICOTSによって自動的に更新されている。著者は,定期的にその考察をチェックして,自動論文作成解析結果に大きな矛盾がないかを確認している。

### 4. おわりに

黒潮続流直下の大規模な海底火山噴火によって大量に放出された高水温の水塊に含まれた揮発性物質は,北太平洋西部海域から中央部に海水温上昇の影響を受け鉛直移流拡散し,黒潮続流によってさらに北太平洋中緯度海域の広範囲にわたる海洋表層水のpH低下や栄養塩濃度増加という大きな変化をもたらした。それと同時に溶存鉄が表層まで運ばれており,その結果,中深層水の鉛直混合による元素の鉛直分布が大きく変化しただけではなく,海洋表層での海洋生態系にも影響を及ぼしている。特に,変色海域の中心ではなく,その周辺海域での植物プランクトンの増加が顕著に観測された。さらに,一部の火山噴火起源物質と植物プランクトンの増殖による生物起源気体は現在も海洋大気中へ放出され,これらの気体が大気中で粒子化され,エアロゾル粒子数の増加により雲核数を増やし,北太平洋上の雲の被覆率が上昇し,海面温度の低下を引き起した。これがトリガーとなり,地球温暖化は抑制されるモードに入ることが予測された。一方,火山噴火起源の微量元素が海洋生物の増殖を抑制する毒性を示し,緩やかな温暖化抑制効果を導いたことを明らかにした。

HACARUDE観測網の南太平洋での観測結果を解析すると,東太平洋海嶺からは,継続的に重金属が放出されているが,その放出源と放出量が常に変化していた。鉄,マンガンをはじめとする平均滞留時間の短い元素だけではなく,海洋化学分野で長年,測定例のなかったプロメシウムなどの三次元分布も得られ,0.1 m毎の連続鉛直分布は,数メートルスケールで複雑なモザイク状になっていることが明らかになってきた(Fig. 2)。従来,海水中濃度が高い場合,コンタミとされていたデータの中には,こういった海底火山



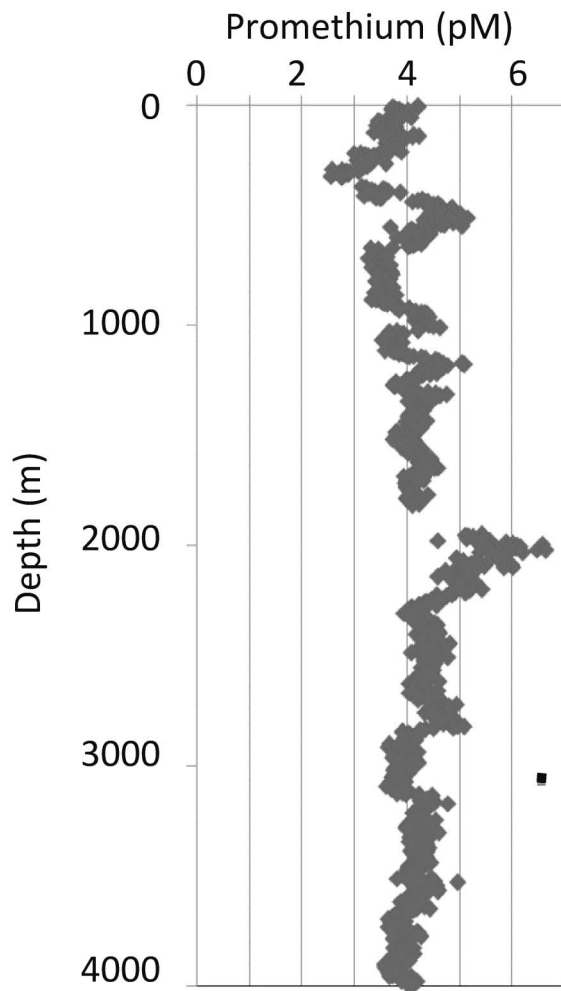


Fig. 2 Vertical profile of Promethium concentration at Station Nozaki ( $12^{\circ}34'S$ ,  $123^{\circ}45'W$ ) in the South Pacific.

起源の高濃度海水の値も多く含まれていたと考えられる。GAICOTSでのこれらの元素の分布の再現には、正確な放出源と放出量の時間変動を与える必要がある。また、突発的な噴火の予測は現在も地震予知と同様、何十年来の大きな課題となっている。