



化学組成解析に基づく海洋—地圏—生物圏 相互作用の追求

川口 慎 介*

1. はじめに

生物群集とそれを取り巻く物質環境が相互に作用しながら駆動している開放系のことを生態系と呼ぶ [Willis 1997]. 海洋—地圏—生物圏相互作用は、深海底生態系の実態とすることができる。

地震や津波、火山噴火や温泉噴出などの地質イベントは、周辺の生態系に大きな変化を引き起こす。地震動であれば、地崩れや隆起が発生したり、温泉など湧水の湧出地点・湧出量・化学組成が大幅に変化することが知られている。ここで注目したいのが、温泉水に依存して暮らす生物群にとって湧出が止まり生息困難になるのであれば、その引き金が地質イベントであろうが人間の開発行動であろうが相違ない、ということだ。

近年、人口増加と経済活動発展による金属需要の高まりから、深海底資源開発への関心が高まっている。代表的なものとして、熱水活動に伴う金属硫化物鉱床、海山などに発達するコバルトリッチクラスト、あるいは深海平原堆積物のレアアース泥があげられる。また大気中で増加する二酸化炭素の海底下貯留も、海底開発と呼べるだろう。二酸化炭素は一般に水深 600 m 以深の温度圧力条件で液体として安定に存在し、水深 3000 m 以深では密度が海水より高くなり浮力を失うことから、特に深海底貯留への関心は今後も高まるだろう。

いずれにせよ、持続的な深海利用のためには、開発活動が生態系におよぼす影響を評価しなければならぬ。しかし、はるか海の下に広がる深海

底生態系については、どのような環境条件に依存してどのような生物群集が生息しているかという現状さえも不明な点が多い。そんな現状にあって、人間活動による擾乱に対して生態系がどのように応答するかを予測することは、極めて困難と思われる。

本論では、深海底生態系の擾乱を観測した私の研究を紹介する。個別の観測事例で対象とした擾乱は、異なる自然現象・人間活動によって引き起こされたものである。しかし化学組成を中心に科学的に解析すると、そこには共通する海洋—地圏—生物圏相互作用の構造を読み取れる。

2. 海底熱水活動と深海底生態系

2.1 海底熱水活動と深海底微生物生態系

海洋—地圏—生物圏相互作用のうち、もっとも研究が進められているのが深海底の熱水生態系、なかでも微生物生態系であろう [中村と高井 2009]。まずは熱水微生物生態系の構造を、海洋—地圏—生物圏相互作用の類型として紹介する。

海底熱水活動では、海底下に浸透した海水が、地球内部の熱により温められ高温高圧の水—岩石反応により変質し噴出する。酸化的な海水に対し熱水は還元性であるため、両者の混合場には酸化還元非平衡が構築される。化学合成微生物は、酸化還元反応からエネルギーを獲得し、無機炭素から有機物を合成する。こうした現象の理論的な理解は、元々は数例の観測に基づいて構想されたものであるが、観測事例が積み重なってもここから

*国立研究開発法人海洋研究開発機構・研究員

逸脱することなく、より堅牢なものとなっている。ここまで熱水生態系理解の理論化が進むと、海水と岩石の化学組成および熱水活動で起こりうる温度圧力条件さえ判明していれば、生じる熱水の化学組成が推定可能であり、また熱水海水混合場で利用可能な酸化還元反応が生み出すエネルギー量を熱力学計算により推定できるようになる。この理論を用いることで、たとえば現在の地球のみならず始原地球や他天体であっても、エネルギー的に生息可能であった化学合成微生物の種別やそのバイオマスまで推測できてしまう [中村と高井 2011; 高井 2018]。なお熱水域に生息する動物群は、熱水そのものからエネルギーを獲得しているわけではなく、化学合成微生物の生産する有機物を摂食しており、またその分布はエネルギー論のみでは説明できない (後述)。

2.2 熱水域の科学掘削と深海底生態系

2010年9月、統合国際深海掘削計画 (IODP) の331次航海として、地球深部探査船『ちきゅう』による沖縄トラフ伊平屋北熱水域の科学掘削が実施された。この掘削による熱水生態系の変化を観察するため、無人探査機を用いた海底観測を約半年おきに掘削後三年間にわたって実施した [Kawagucci et al. 2013; Nakajima et al., 2015; Nozaki et al., 2016]。

1995年の発見以来、多数の潜航調査が伊平屋北熱水域で実施されたが、熱水噴出地点、チムニーやマウンドなど構造物、あるいは動物群コロニーなどを含む風景の変化はほとんどなく、定常状態にあると考えられた。これが掘削地点の周囲では一変した。伊平屋北熱水域で最大のマウンドであるNBC頂部の掘削孔 (C0016A孔) では、掘削以降にチムニーが急速に成長し、掘削後二年間で高さ15 mとなった。これは天然の噴出口の径 (< 5 cm) に比べ掘削裸孔の径が大きい (> 50 cm) ため、熱水の上昇速度が低減し、海水との混合がゆるやかに起こるため、沈殿が上昇流に吹き飛ばされることなく構造化したためと考

えた。

NBCから東に400 m離れた掘削地点 (C0014) では、掘削以前には顕著な熱水噴出はなく、動物群集の遺骸が散在していた。しかし掘削により海底下の不透水層を貫いた結果、さらに深部を流れていた熱水が湧出しはじめた。熱水は、掘削孔から勢いよく噴出するのみならず、孔周辺の堆積層から染み出すように湧出した。また湧出が目視できない地点であっても、化学合成微生物の増加により形成される微生物マットが広がっていた。これは先に熱水生態系の概観で述べた類型で十分に説明できる。なお熱水で観測された微生物種の99.9%が海水からも検出されるため、熱水域の微生物は海水に潜在的に含まれており、熱水環境に至ることで増殖していると示唆されている [Gonnella et al 2016]。つまり、海底下の熱水流路が変わり新たな地点から湧出が起こるという1つのイベントから、微生物マットが形成するまでは、地球上のどこであっても普遍的に起こると想定して問題がないだろう。

伊平屋北熱水域における主要な動物であるゴエモンコシオリエビの数密度は、C0014周辺において掘削前には0.3 inds/m²程度であったが、掘削25ヶ月後には10 inds/m²にも及ぶコロニーを形成した。コロニーを形成するゴエモンコシオリエビには、体長の小さなものが観察されなかったことから、C0014周辺で繁殖したわけではなく、伊平屋北熱水域内の別コロニーから歩行・遊泳により集まってきたと考えられる。一方、顕著な遊泳能力を持たないシンカイヒバリガイは、伊平屋北熱水域内に大規模なコロニーを複数形成しているが、掘削後3年が経過してもC0014周辺にコロニーを形成しなかった。

熱水生態系を構成する底生動物群は、卵や幼生といった成長段階において浮遊生物として海流に乗ることで長距離を移動する。これは幼生分散と呼ばれ、長距離移動が可能である一方で、歩行や遊泳と比べると受動的な移動であるため特定の地点に到達する期待値が著しく低い。シンカイヒバ

リガイが幼生分散に依存した移動行動を取ることが、掘削後のゴエモンコシオリエビとシンカイヒバリガイの分布の違いとなっている可能性がある。また1 km²程度の熱水域内での移動にもまして、10 km以上離れている熱水域間の幼生分散は到達の期待値が低く、これが熱水域の動物群の生息範囲を限定する要因となっている。仮に大規模な地質イベントや海底資源開発によってある熱水域の全域が擾乱された場合、同地に生息していた動物群集が復元するには、他の熱水域から幼生分散によって移入するほかない。しかし幼生分散を定量的に観測することが非常に困難なため知見はいまだ蓄積しておらず、現時点では動物群集復元力の見積もりは困難である [矢萩ら, 投稿中]。こうした背景から、2019年7月にはインド洋の熱水域に固有のスクーリーフットと呼ばれる巻貝がIUCNレッドリストに絶滅危惧種として登録されている [Sigwart et al., 2019]。熱水性金属鉱床の開発可能性に対する環境影響評価の重要なパートとして、幼生分散を定量的に理解する研究を推進する必要がある。

3. 堆積物再懸濁と深海底生態系

3.1 東日本大地震と深海底生態系

深海の水塊には微生物が10³ cell/mL程度の数密度で存在している。これら微生物は、海洋表層から沈降する粒子状有機物や海水溶存有機物を分解することで、細胞数密度を維持するエネルギーを獲得していると考えられている。一方で、噴出した熱水が深海水塊に広がっている範囲(熱水プルーム)では、熱水が供給する無機化学成分を利用する微生物が増殖する影響から、数密度が高いことが知られている [砂村ら 2009]。このように、地圏からエネルギー基質が供給される海洋—海底境界環境の水塊では、一般の深海環境とは異なる微生物生態系の駆動が想定される。

2011年3月11日に発生した東日本大地震は、東北地方を中心に甚大な被害を引き起こした。深海底の直上水塊にも大規模な擾乱が起こっている

ことが予想されたため、地震発生の36日後に震源域から東方にかけての4測点で海洋地球調査船『みらい』のCTD多連採水器システムによる観測を実施した [Kawagucci et al., 2012; Noguchi et al., 2012; Sano et al., 2014; Nunoura et al., 2016]。

すべての測点で、通常の深海環境では見られない顕著な光透過度の異常(海水の濁り)が観測された。濁りは海溝軸に近い測点ほど顕著で、水深5715 m地点では海底から1500 mの高さまで濁りが広がっていた。濁り層内ではメタンおよびマンガンの濃度が深海バックグラウンドレベルの100倍程度まで増加していた。相模湾初島沖の海底ケーブル観測ステーションでは、2006年4月に発生した地震に伴う混濁流が撮影され、また同時に現場マンガ分析装置により顕著な濃度上昇が観測されており [Gamo et al., 2007]、これと同様の現象を捉えたものと考えられる。メタンについては、測点間で炭素同位体比が明瞭に異なり、地震前に周辺で行われた掘削観測のデータを参照すると、比較的¹²Cに富むメタンは堆積物由来(混濁流由来)である一方、¹³Cに富むメタンは断層をつたって海底下1000 m以深から放出された可能性がある。同試料のヘリウム同位体比分析からマンタル由来流体の放出が示唆されており、深部由来のメタンと調和的に説明される。

濁り層の中では、微生物細胞数も通常の深海環境に比べ3倍程度まで増加していた。16SrRNAに基づく群集構造解析では無機従属栄養微生物および無機独立栄養微生物が検出され、細菌/古細菌比の変化も認められた。微生物菌数の増加は、堆積物に存在する微生物の流入および水塊に放出された化学成分を利用する微生物の増加によるものと考えられた。70日後および98日後の観測では、微生物菌数が通常レベルまで減少していたが微生物群集構造の変質は続いていた。とはいえ海水は流動するため、いずれは地震の影響がない水塊と同様の生態系に戻ると推定される。

3.2 超深海海溝域の深海底生態系

2016年に運用が開始された海底広域研究船『かいめい』は、全海洋底に到達可能なCTD多連採水装置を標準搭載している。これを利用し、伊豆・小笠原海溝域を中心に海溝軸部の5点を含む16観測点においてCTD鉛直観測を実施し、水塊の海洋学的・生物地球化学的な特徴を調べた[Kawagucci et al., 2018]。

海水の最も基礎的な特徴である海水密度（塩分と温度から算出）をWOCE水準の精密さで調べた結果、伊豆・小笠原海溝では水深7,000 m以深で密度が均一であった。一般に深海と超深海を分ける水深として6,000 mあるいは6,500 mが採用されているが、海洋学の基礎となる密度に照らせば、伊豆・小笠原海溝域における深海-超深海境界は水深7,000 mにあると再定義するのが妥当であろう。

溶存酸素、各種栄養塩（硝酸塩・リン酸塩・ケイ酸塩・アンモニア）の濃度、硝酸態窒素の窒素・酸素安定同位体組成、亜酸化窒素の濃度および窒素・酸素安定同位体組成、ならびに無機炭素の放射性炭素含有率などは、深海の領域で従来の観測結果と一致し、また超深海では密度同様これらが均一に分布していた。超深海において溶存酸素にも変化が見られなかったことは、海溝を形成する超深海の水塊がよく混合しており、また特異的に高い微生物代謝活性は存在していないことを示している。

一方、メタン・マンガン・全有機物量といった海底堆積物に豊富に含まれる成分では、深海-超深海において一様ではない分布を示した。特にメタンの炭素同位体組成は、伊豆・小笠原海溝内の南北・深浅で明瞭に異なる空間分布を示した。マリアナ海溝北端部では深海から超深海にかけて均一な炭素同位体組成であるが、伊豆・小笠原海溝の北側では超深海において明瞭に ^{12}C に富むメタンが多い。総マンガン濃度についても、マリアナ海溝では深海-超深海に差が見られないが、伊豆・小笠原海溝では超深海部で上昇が認められる。

海溝各部の日本列島からの距離あるいは海洋表層生産性および均一な海水特性を考慮すると、沈降粒子・堆積物に富む伊豆・小笠原海溝北部では、急峻な斜面から堆積物が再懸濁しながら海溝軸に流れ込んでいることが想定され、この再懸濁によってメタンやマンガンなどが水塊へ放出されていると考えられる。

深海-超深海領域の微生物生態系の代謝活性を把握するため、 ^{15}N ラベルを施したアンモニア・尿素・グルタミンを添加して培養する硝化活性計測を実施した。しかし、いずれの基質を用いた培養でも、水深2000 m以深では検出限界以下の活性($< 7.3 \text{ nmol-N L}^{-1} \text{ yr}^{-1}$)しか計測されなかった。溶存酸素と放射性炭素含有率の相関から推定される北部西太平洋深層水での酸素消費速度($86 \pm 3 \text{ nmol-O}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ yr}^{-1}$)と硝化代謝のストイキオメトリ($\text{NH}_4^+ + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3^- + 2\text{H}^+ + \text{H}_2\text{O}$)を考慮すると、硝化の寄与は多く見積もっても20%未満であり、深海における主要な代謝ではないことが示唆された。酸素消費量あたりのエネルギー生産は、硝化($\Delta G = -153 \text{ kJ mol-O}_2^{-1}$)に対しグルコース呼吸($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2 \rightarrow 6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$; $\Delta G = -480 \text{ kJ mol-O}_2^{-1}$)の方が大きいため、エネルギーフラックスの観点でも、硝化は主要な代謝ではないと推定される。なお、酸素消費がすべてグルコース呼吸に使われたと仮定すると、酸素消費速度($86 \text{ nmol-O}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ yr}^{-1}$)から、深海の水塊微生物群集が産生するエネルギーは $4.1 \times 10^5 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ と見積もられる。深海の微生物細胞数密度($10^6 \text{ cell kg}^{-1}$)が大洋の全域でほぼ一定であることを踏まえると、微生物細胞数を維持するために利用される細胞あたりのエネルギー量($4 \times 10^{11} \text{ kJ cell}^{-1} \text{ yr}^{-1}$)が求まり、これは海底堆積物深部の生態系で見積もられた要求エネルギー量($3 \times 10^{11} \text{ kJ cell}^{-1} \text{ yr}^{-1}$)とほぼ同等である。

海溝斜面堆積物の再懸濁が水塊の化学組成・微生物群集に影響を及ぼす現象は、他の海底環境においても同様に発生しうる。たとえば海山は海溝部と同様に急峻な斜面を有する。また深海平原で

は海底直上に懸濁層の存在が知られている。これらの環境でも、トリガー機構（地震動あるいは潮汐など海水流動）やその規模・頻度は違えども、海溝域で見られたのと同様の「懸濁層生態系」とでも呼ぶべきものが普遍的・定常的・間欠的に駆動している可能性がある。

懸濁層生態系は、堆積物再懸濁という物質的に不均一かつ発生の時空間分布が不均一な現象に引き起こされるため、理論化して理解することが困難である。懸濁層生態系について、その内部機構の実態をより詳細に理解し、あるいはその時空間的な分布を把握するために、さらなる観測研究が必要である。CTD多連採水器システムを用いた海水試料採取がその主力手段となることは間違いない。一方で、海底に接近する試料採取や、広い時空間をモニタリングするには、他の手段を用いる必要がある。

無人探査機や有人潜水調査船による潜航調査は、海洋－海底界面での試料採取に威力を発揮する。ニスキン採水器による海水採取に加え、懸濁粒子も採取すべきである。たとえば無人探査機で海底ソリネットを曳航する観測によって、海底直上懸濁層内の粒子（微小動物を含む）を大量に採取できるだろう。

海溝部や海山で起こる斜面崩壊の規模や頻度を観測するには、サウンドスケープ観測 [Lin et al., 2019] が有効かもしれない。採水観測は採取した水の性質を、映像観測では光の届く 20 m 程度の距離の現象を、それぞれ詳細に把握できるが、広い時空間軸の中で局所的かつ突発的に起こる現象をモニタリングするのに、これらの観測は不向きである。一方で、音は物質や光と異なり、ほとんど希釈・減衰することなく水中を伝播する。深海底で音を連続的に収録すれば、収録地点の周囲で起こる音を伴う現象（たとえば斜面崩壊）の発生をモニタリングできる。とはいえ、現時点では深海サウンドスケープの観測事例が乏しく、どの程度の大きさの音を、どの程度の距離で観測可能かは評価されていない。今後、観測事例を蓄積す

ることで、サウンドスケープ観測に基づく斜面崩壊の規模・頻度の定量的評価を実現することに期待がかかる。

4. むすび

まるで明瞭な目的意識を持って観測に取り組んできたように書き進めてきた。しかし実際には、掘削事後調査は元々別計画として立案された潜航調査航海が偶然にも掘削と同時期であったことで巻き込まれた仕事だった。また東日本大地震直後の調査についても、当時の上司から「深海調査で何かできないのか？」と尋ねられた際に、蒲生俊敬先生や角皆潤先生、岡村慶さんらの研究成果を紹介したところ「では、それをやりたまえ」となったにすぎない。超深海海溝域の調査は、新船の試験・慣熟航海の機会を利用して観測を進めたい同僚から強引に誘われたものだ。

しかし「幸運の女神には前髪しかない」という西洋のことわざがある。最近「チャンスのドアにはドアノブがない」とも言うようだ。いずれも「予期せず訪れたチャンスには躊躇なく飛び込め」ぐらいの意味だろうか。深海底生態系はまだまだわからないことばかりで、適切な手法を用いて観測すれば、必ず新しいことが判明する。そう信じて、誘われたり命じられたりするがまま無闇矢鱈に航海乗船を重ね研究を進めたことが、結果として第三回海洋化学奨励賞をいただく成果に結びついたのだと思う。海洋化学の道に導いてくれた蒲生俊敬先生 [川口 2018]、本賞に推薦してくれた高井研さんをはじめ研究機会を提供し視野を広げてくれた研究者のみなさんに感謝する。最近はずっかり研究への意欲を失いつつあるが、今回の受賞を励みに、深海底生態系を詳しく知る人間の一人として、もう少しの間だけでも責任をもって研究・行動を続けようと思う。人類による深海底利用が適切なものとなることを願ってやまない。

参考文献

Willis, A. J. (1997) The Ecosystem: An Evolving

- Concept Viewed Historically. *Functional Ecology*, 11, 2, 268–271.
- 中村謙太郎・高井研 (2009) 海底熱水系の物理・化学的多様性と化学合成微生物生態系の存在様式. *地学雑誌*, 118, 1083–1130.
- 中村謙太郎・高井研 (2011) 海底熱水系の生物地球化学: 海底熱水の化学的多様性は熱水生生態系を規定するか? *地球化学*, 45, 281–301.
- 高井研 (2018) 太陽系氷衛星内部海におけるハビタビリティ (生命存在条件). *生物工学*, 96, 639–643.
- Kawagucci, S., J. Miyazaki, R. Nakajima, T. Nozaki, Y. Takaya, Y. Kato, T. Shibuya, U. Konno, Y. Nakaguchi, K. Hatada, H. Hirayama, K. Fujikura, Y. Furushima, H. Yamamoto, T. Watsuji, J. Ishibashi, and K. Takai (2013), Post-drilling changes in fluid discharge pattern, mineral deposition, and fluid chemistry in the Iheya North hydrothermal field, Okinawa Trough, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 14, 4774–4790, DOI: 10.1002/2013GC004895.
- Nakajima R., H. Yamamoto, S. Kawagucci, Y. Takaya, T. Nozaki, C. Chen, K. Fujikura, T. Miwa, and K. Takai (2015), Post-drilling changes in seabed landscape and megabenthos in a deep-sea hydrothermal system, the Iheya North field, Okinawa Trough. *PLOS ONE*, 10(4): e0123095. doi: 10.1371/journal.pone.0123095.
- Nozaki T., J. Ishibashi, K. Shimada, T. Nagase, Y. Takaya, Y. Kato, S. Kawagucci, T. Watsuji, T. Shibuya, R. Yamada, T. Saruhashi, M. Kyo, and K. Takai (2016), Rapid growth of mineral deposits at artificial seafloor hydrothermal vents, *Scientific Reports*, 6, 22163, doi: 10.1038/srep22163.
- Gonnella, G., Böhnke, S., Indenbirken, D. *et al.* (2016) Endemic hydrothermal vent species identified in the open ocean seed bank. *Nat Microbiol* 1, 16086 doi: 10.1038/nmicrobiol.2016.86.
- 矢萩拓也・CHEN Chong・川口慎介 (投稿中) 深海の化学合成生態系動物群集の幼生分散過程
- Sigwart, J.D., Chen, C., Thomas, E.A. *et al.* (2019) Red Listing can protect deep-sea biodiversity. *Nat Ecol Evol* 3, 1134 doi: 10.1038/s41559-019-0930-2
- 砂村倫成・野口拓郎・山本啓之・岡村慶 (2009) 熱水活動が海洋環境と深海生態系にもたらす影響, *地学雑誌* 118 (6) 1160–1173.
- Kawagucci, S., Y. T-Yoshida, T. Noguchi, M. C. Honda, H. Uchida, H. Ishibashi, F. Nakagawa, U. Tsunogai, K. Okamura, Y. Takaki, T. Nunoura, J. Miyazaki, M. Hirai, W. Lin, H. Kitazato, and K. Takai (2012), Disturbance of deep-sea environments induced by the M9.0 Tohoku Earthquake, *Scientific Reports*, 2, 270, doi: 10.1038/srep00270.
- Noguchi, T., W. Tanikawa, T. Hirose, W. Lin, S. Kawagucci, Y. Yoshida-Takashima, M. C. Honda, K. Takai, H. Kitazato, and K. Okamura (2012), Dynamic process of turbidity generation triggered by the 2011 Tohoku-Oki earthquake, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 13, Q11003, doi: 10.1029/2012GC004360.
- Sano, Y., T. Hara, N. Takahata, S. Kawagucci, M. Honda, Y. Nishio, W. Tanigawa, A. Hasegawa, and K. Hattori (2014), Helium anomalies suggest a fluid pathway from mantle to trench during the 2011 Tohoku-oki earthquake, *Nature Communications*, 5, 3084, doi: 10.1038/ncomms4084.
- Nunoura T., M. Hirai, Y. Y-Takashima, M. Nishizawa, S. Kawagucci, T. Yokokawa, J. Miyazaki, O. Koide, H. Makita, Y. Takaki, M.

- Sunamura, and K. Takai (2016), Distribution and niche separation of planktonic microbial communities in the water columns from the surface to the hadal waters of the Japan Trench under the eutrophic oceanhas, *Frontiers in Microbiology*, 7:1261. doi: 10.3389/fmicb.2016.01261.
- Gamo, T., Okamura, K., Mitsuzawa, K. and Asakawa, K. (2007) Tectonic pumping: Earthquake-induced chemical flux detected in situ by a submarine cable experiment in Sagami Bay, Japan. *P Jpn Acad B-Phys*, 83, 199–204.
- Kawagucci S., A. Makabe, T. Kodama, Y. Matsui, C. Yoshikawa, E. Ono, M. Wakita, T. Nunoura, H. Uchida, T. Yokokawa (2018). Hadal water biogeochemistry over the Izu-Ogasawara Trench observed with a full-depth CTD-CMS, *Ocean Science*, 14, 575-588, doi: 10.5194/os-14-575-2018.
- Lin T-H, C. Chen, H.K. Watanabe, S. Kawagucci, H. Yamamoto, T. Akamatsu (in press) Using Soundscapes to Assess Deep-Sea Benthic Ecosystems, *Trends in Ecology & Evolution*, doi: 10.1016/j.tree.2019.09.006
- 川口慎介 (2018) 成層圏から深海底までその足跡を追う, *月刊海洋号外* 61, 179–183.