

目次

研究	英国大学院留学記《6》	長坂 直彦	2
回顧	伝説の「孫七船長」まつわり話《4》	中陣 隆夫	9
自然	プランクトンが語る海の環境と生態系《2》	谷口 旭	14
歴史	中国の地図を作ったひとびと《3》	今村 遼平	20
研究	平成28年度 水路技術奨励賞 (第31回)		27
	南海トラフ巨大地震想定震源域におけるプレート境界の固着分布の推定		28
	衝撃波力を含む高波浪場のための数値設計手法の開発		33
	内航船向け最適航海計画支援システムの開発 商用化		39
	水中騒音振動監視システムの開発		44
コラム	健康百話 (59)	加行 尚	48
	海洋情報部コーナー	海洋情報部	51

お知らせ

ISO 9001 : 2015 認証を更新	62
第19回理事会及び第8回評議員会・第20回理事会開催報告	63
平成28年度 水路業務功績者表彰	64
平成29年度 1級・2級水路測量技術研修実施報告	65
平成29年度 沿岸海象研修実施報告	67
平成28年度 水路測量技術検定試験問題 港湾1級1次	68
平成29年度 水路測量講習会案内	73
協会だより	74
編集後記	75
海底地形デジタルデータ更新情報のおしらせ	76

表紙：削り絵「清水港」・・・稲葉 幹雄

静岡県のある大港湾を三保の松原近くの日本平から港とその背後の富士山を含めて風景画にまとめました。

削り絵とは？

海図製図材料「スクライブベース（着色）」の切り落としに刃先で画線を削る作者オリジナル技法によるものです。

作者ブログ <http://blog.goo.ne.jp/mikijii>

掲載広告

オーシャンエンジニアリング 株式会社	表2
株式会社 離合社	77
株式会社 武揚堂	79
海洋先端技術研究所	81
一般財団法人 日本水路協会	表3・82・83・84
古野電気 株式会社	78
株式会社 鶴見精機	80
株式会社 東陽テクニカ	表4

英国大学院留学記《6》

海上保安庁海洋情報部 技術・国際課国際業務室 海洋情報渉外官 長坂 直彦

172号 英国大学院留学記《1》

174号 英国大学院留学記《2》

176号 英国大学院留学記《3》

178号 英国大学院留学記《4》

180号 英国大学院留学記《5》

皆様、こんにちは。2014年8月から2016年8月まで英国に派遣されていた海上保安庁海洋情報部の長坂です。

前回の投稿で、私の連載は終わったと思っていたため、投稿の最後に関係各方面への御礼と、英国留学のまとめのようなものを縷々述べておりましたが、あにはからんや、もう一本書いてみませんかと日本水路協会さんから親切なお言葉を頂きました。（正直に言えば、ちょっと去り際を間違えた気もしていますが。）

帰国して一年弱、英国文化に触れることと言えば、通勤時間中に耳を慣らすためにBBCを聞くくらいで、すっかり馴染みが薄くなってしまいました。買ったコメディのDVDも全然消化できておりません。そんなわけで何を書いたらよいものか少々途方に暮れていました。

しかし、考えてみれば大学院留学二年目、キングスカレッジロンドンで行った研究については、これまでの連載であまり深く説明する機会がありませんでした。海の境界関連に興味のある方がおられれば何か役に立つかもしれません。

1. 海の境界画定の発展

一般に、日本で海の境界と聞いてイメージ

されることは少ないかもしれませんが、『水路』の読者であれば、大陸棚や排他的経済水域（EEZ）といったものは定義や管轄権までご存知かと思いますが、さてそれらの境界の画定方法が時代と共に発展/変遷してきた経緯は国際法を専門とする方以外にはあまり知られていないのかもしれませんが。わが国が海の境界についてほとんど全て周囲の国と協定を結んでいないことを考えればそれも当然のことかもしれません。

一方、英国は海の境界画定・あるいは海洋の利用に関しては常に世界をリードしてきました。英国は、周囲の国々との境界画定を全て終えたことから、EEZ内、特に北海において遠浅の海底地形と安定した風力を利用した洋上風力発電が極めて盛んです。結果、海域の利用調整政策を行うにあたり、わが国には見られない地域毎の海域利用計画のようなスキームを設けています。その利用計画の策定にあたり、当然ですが水路関係者の持つ地理空間情報は極めて重要な意味を持ちます。

筆者が所属していたキングスカレッジロンドン地理学部では、英国水路部の海洋法担当部門から現役実務者が外部講師として招聘され、『水路』読者向きのテクニカルな講義が数回に渡って行われていました。（外部講師は英国水路部を昨年引退されました。）

「大縮尺」、「低潮高地」、「測地系」といった技術用語が飛び交い、筆者以外のクラ

スマートを困惑させたのは楽しい思い出です。

以下では、そのキングスカレッジロンドンでの研究内容をかいつまんでご説明したいと思います。（以下、完全に個人の理解に基づくもので、かなりの誤解もあるかもしれませんが、また筆者の所属する組織の見解とは全く無関係ですので念のため。）

（１）海の境界画定手法の現状

現在、国際法における海洋の境界画定の一般的な方法論は、3ステップアプローチとしてかなり整備されてきた感があります。これは国際判例において困難なケースを何とか解決に導くべく、多くの学者や実務家が長年努力してきた結果ともいえます。その有名な3ステップアプローチの概要は以下の通りです。

- ① まず暫定的な中間線を引く。
- ② 次に関連事情を考慮し、①の中間線に適当な修正を施す。
- ③ それが衡平な結果となりうるか、衡平性テスト（多くの場合、関連海域と海岸線長の比が大きく離れていないことを確認するもの）を実施する。

歴史的に、短距離の領海の境界画定は中間線で大体妥結されてきたわけですが、その後大陸棚や排他的経済水域といった沿岸からの長距離の境界画定を行うにあたり、「中間線原則」を認めず「衡平原則」を主張するグループも現れ、その妥協として上記の修正ステップを設けた手法が国際法廷において一般的になってきたといえます。

（以上、簡単に述べましたが、関連事情とはどういったもので、歴史的な何が関連事情として考慮されてきたかを述べるだけでも、本が一冊書かれてしまうようなものですので、概要とお考え下さい。）

この3ステップアプローチ以前の問題として、筆者は一年目の大学院において、そもそも中間線ベースの境界画定手法がどの程度一

般的に広がってきているのか、それは定量的に確認できるのかを考察しました。その結果の詳細は、以前お示しした Marine Policy 誌をご覧ください。（Nagasaka (2016a)）

筆者の一年目の研究では、基本的には、中間線ベースの境界画定方法が、非中間線ベースの手法よりもより一層用いられるようになってきている傾向が確認されました。また、沿岸の地理形状が相対するの隣接するののかによって、境界画定手法が分かれていることも確認されました。

その上で、以前から抱いていた疑問として、そもそも3ステップアプローチとは何故生まれたのか、どのような信頼性があるのか、ということでした。この手法は確からしく見えます。しかし、技術的に、実務的に考えるとすぐに多くの疑問に当たることになります。

関連事情があったとして、その事情を反映してどのように調整（定量的に、あるいは「客観的に」）すればよいのか。衡平性テストを行ったとして、どのような海域を関連海域とすればよいのか、どこまでを関連する海岸線としてとらえればよいのか、果たして衡平性を主張しうるテスト結果の値の範囲（閾値）とはなんであるのか。単純に考えても多くの疑問が残る手法論であることは論を俟ちません。

実際、国際法学者の間でも多くの同様の指摘がなされています。例えば Tanaka (2001) はそもそもなぜ海岸線長の比を用いて再度修正をしなければならないのか、仮に海岸線の長短があれば、それを反映した形で海域の面積も同じような大小で分配される以上、関連海域と海岸線長の比をそれ以上考察することあまり意味はないとしました。

また、Fietta and Cleverly (2016) は裁判所が示した衡平性テストの結果（つまり関連する海域と海岸線長の比ですが）を過去の判例についてまとめ、なんらかの傾向や共通点が見られるのかを評価し、結果として、あ

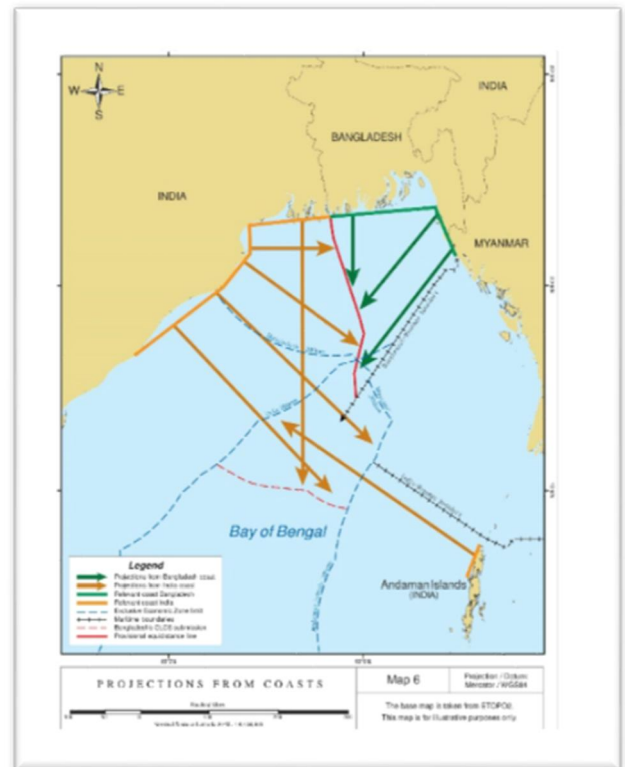
る結果が衡平である、と裁判所が認定する場合の値の幅はかなり広く、また最初の間中線を引く時点で基点の選択等、曖昧な部分が多いと指摘しました。

私もキングスカレッジロンドンでの研究では、3ステップアプローチの持つ、一見すると「客観的」で「技術的」な、また「定型的」な側面の背後に、様々な「主観的」な判断が潜んでいることを中心に研究を行いました。

(2) 海洋境界画定における衡平性テストの評価

まず研究においては、これまで国際裁判で争われてきた22のケースを表にまとめる作業から始めました。(Nagasaka (2016b)) それにより、徐々に衡平性が言及されることが多くなってきたこと、また衡平性テストの値が具体的に計算されることが増えてきたこと、特に2009年以降のほぼすべてのケースでその値が計算されていること、当初衡平性テストの結果は一方の側から発表されることが多かったが近年は係争している両者とも値を発表する傾向があること等を確認しました。

また、判例において用いられる地図が徐々にカラフルに、また特に海岸から海域への射影を表すような矢符(これはどの海域が関連海域かを論述する際に用いられます)がビジュアルとしてより明示的に用いられるようになってきたことも確認しました。



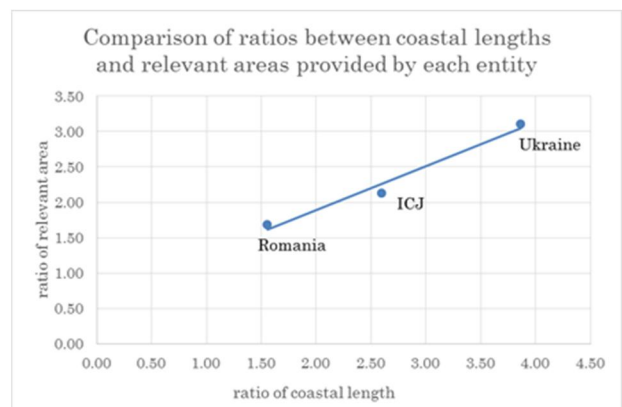
バングラデシュ対インド(2014)において裁判所が初めて作成した矢符図

その上で、2009年以降の国際判例をケーススタディとして、係争する両者がどのように関連する海岸線と関連海域を設定し、どのようにその衡平性テストの値を主張しているか、またその両者の主張を踏まえて、裁判所がどのように関連する海岸線と関連海域を決定したのか、図及びGISによる衡平性テストの値の検証を行いました。(仕事柄GISソフトに慣れていたため、非常に助かりました。)

以下には、ルーマニア対ウクライナのケースでの両者及び裁判所の見解の違いを例として示しました。



ルーマニア対ウクライナ（2009）における関連する海岸線と海域についての、両者及び裁判所の見解の違いの比較（上から、ルーマニア、ウクライナ、裁判所の見解。判決文書に筆者追記）



ルーマニア対ウクライナ（2009）における関連する海岸線長と海域面積比に関する両者及び裁判所の見解の違いの比較（筆者作成）

これから分かることは、関連する海岸線と海域についての主張が両者で大きく異なることです。係争者は当然ですが、自分たちの海域が出来る限り大きくなるように、あるいは重要な海域を確保するように、といったそれぞれの目標を達成するために最大限努力するはずで、その中で自分たちの主張がそれほど自分勝手なものではない、公正な主張であることを示すための努力をするはずで、そして、裁判所は両者の言い分を聞きながら、（明文化されたルールがない以上）、両者がなんとか受け入れ可能な案を提示するよう努力するのではないのでしょうか。

上記のルーマニア・ウクライナのケースでは一見そのような隠れたモチベーションが明らかになっているように見えます。裁判所の示した値は両者の値のちょうど間をとっているようにも見えます。

しかし、当然ですがこのシンプルな図・数値の比較で複雑な裁判を簡単に理解できるようになると結論付けるのは拙速でしょう。紙幅の関係で今回は割愛せざるを得ませんが、他の判例で同様の分析をすると、裁判所は特に両者の主張にそれほど影響されていないようにも見えます。結局、定量的な手法で全てがわかるわけではない、というこの2年間で何度も出てきた定量手法の限界にまた行きあたることとなりました。

この点で、筆者は地図の意味をより定性的にとらえることで、そもそもなぜこれらの図や衡平性テストが多く用いられるようになったのか、その背景を探ろうとしました。

（3）海洋境界画定における地図の意味

『水路』の読者の皆様ならすぐに納得いただけたと思いますが、地図は簡単に人をだまします。

そもそも曲面を平面におこす以上、地図上で距離、面積そして角度のひずみを完全になくすことはできません。メルカトル図法を見

てみましょう。高緯度に行くに従って、その国は実際よりも大きく見えはじめます。（「実際」、という語が何を指すかは曖昧ですが）有名なウェブサイトで”TRUE SIZE OF …”（no date）というものがあります。ブラウザ上で、緯度の異なる各国の大きさを比べることが出来ますので遊んでみてください。

地図がどのような手法で表現されているか、ということも重要です。子供が描いた手書きの地図なのか、宮廷に雇われた絵師が数年かけて描いた地図なのか、GISで描かれた地図なのか、はたまた白黒かカラーか。同じ情報を含んでいるとしても、これらの様々な表現による地図はまたそれぞれ異なった印象を与えます。我々が伊能図を見て感動するのは、そこに秘められた膨大な先人の努力に畏敬の念を覚えるからにほかなりません。（たとえ、沖合の島が意外に省略気味に描かれていたとしても、です。）

地図は、そもそも現実世界を省略して見せることに意味があります。もし全く何も事物を省略しない地図があれば、それはホルヘ・ルイス・ボルヘスの有名な掌編「学問の厳密さについて」に出てくる、ある王国と同じ大きさの地図そのものです。この話の中では、地図作成技術の進歩から縮尺1で王国全体を表す（つまり王国と同じ大きさの）地図が作成されましたが、後年誰にも顧みられなくなりばらばらになって砂漠の片隅に地図の一部が転がっていて、獣の巣になったりしているそうです。

地図の作成において、情報の取捨選択はつきものです。英語でGeneralization、日本語では総描と呼んだりしますが、地図作成者は意識的にせよ無意識的にせよ、地図に情報載せる（あるいは載せない）という権限行使せざるをえないのです。

太閤検地でも明らかなように、地図は領土全域の支配権を確立する上で重要な役割を果たします。だからこそ、中世ヨーロッパの王

族の肖像画の多くで、地球儀や地図を王族の傍らに配するのでしょう。(Harley (1988)) このあたりの地図が持つ政治性を議論する学問分野を Cartopolitics と呼びます。

筆者は、これまでの海洋境界画定を扱ってきた国際法廷において何か地図が決定的な役割を果たした、とまで主張するつもりはありません。それでも、大抵の人にとって地図が一定の説得力を持つものである以上、同様の力が法廷においても発揮されたと想像するのはそれほどおかしなことではないと思います。Platt (2006)は同種の指摘をしており、投影法や色、スケールが時に法廷でのプレゼンテーションにおいて一定の意味を持つと言っています。我々地図作製者は地図の持つ力にもう少し意識的になってもよいのかもしれない。

3ステップアプローチの持つある種の権威性についても注目が必要です。前述の Fietta and Cleverly (2016) では、基点の抽出が主観的な取り扱いを受けているという指摘をした上で、0次ステップとして基点の抽出をステップに組み込んだうえで、より客観的で透明性の高いアプローチを取るべきと指摘しています。3次から4次へ、より精密な定式化・マニュアル化を模索する動きは、それ自体否定されるべきものではありません。しかし、筆者はここに定型的なマニュアル化・規格化により複雑な物事を円滑に進めようとする現代の底流があることに注目したいと思います。実際には、3次が4次になったとしても、人間の主観が必要になるでしょうが、それでも精密な方法論を追求したくなる、これが人間の(あるいは西欧的な方法論の)現代の志向性なのかと思われまます。

(4) おわりに

筆者は、英国での留学の2年間を通じて、リスクに対する社会学的議論から国際法の議論まで、海洋境界画定に通じる地理学の様々

な分野に触れることが出来ました。

日本での大学時代の専攻は自然科学でしたが、自分にとっては社会科学も面白く、あまり枠をしばらずに色々な視点に触れることがとても大事だと気づいたように思えます。結局のところ、上記で述べたように客観的・定量的な議論にも定性的な要素が入っているものですし、その逆もしかりです。何かを学ぶときの苦しみと楽しさには、どの分野でもそれほど差はないのだと分かりました。

帰国してからは、毎日の業務もあり正直こういった努力をすることもなくなってきました。しかし、それに流されていても面白くありません。特に今回この記事を書くにあたって、一年前どう自分で考えを広げていったかを少し思い出すことができたのはよい機会でした。

この先も引き続き何かを学んでアウトプットしていけるように、そして公務にしっかりと還元していきたいと思います。時には、この『水路』でお目にかかることができるかもしれません。それではまたどこかで。

参考資料

- 1) Nagasaka, N. (2016a) Visualising historical trends in global maritime boundary delimitation since the 1940s, *Marine Policy*, 71, pp.29-37.
- 2) Nagasaka, N. (2016b) The meaning of proportionality test in maritime boundary delimitations: historical development and cartopolitical analysis. Dissertation to King' s College London.
- 3) Tanaka, Y. (2001) Reflections on the Concept of Proportionality in the Law of Maritime Delimitation, *The International Journal of Marine and Coastal Law*, 16 (3), pp. 433-463

- 4) Fietta, S. and Cleverly, R. (2016) A Practitioner's Guide to Maritime Boundary Delimitation, Oxford: Oxford University Press.
- 5) Bay of Bengal Maritime Boundary Arbitration between Bangladesh and India (2014) Award, 7 July, [online] available at: http://archive.pca-cpa.org/BD-IN%2020140707%20Award2890.pdf?fil_id=270
5 (Accessed on 4 June 2017).
- 6) Maritime Delimitation in the Black Sea (Romania v. Ukraine) (2009) Judgment, I.C.J. Reports 2009, p. 61.
- 7) THE TRUE SIZE OF ... (no date) [online] <http://www.thetruesize.com/>
- 8) Harley, J. (1988) Maps, Knowledge, and Power, in Cosgrove, D. and Daniels, S. (ed.) The Iconography of Landscape: Essays on the Symbolic Representation, Cambridge: Cambridge University Press, pp. 277-312.
- 9) Platt, M. (2006) The Role of the Technical Expert in Maritime Delimitation Cases, in Lagoni, R. and Vignes, D. (ed.) Maritime Delimitation, Leiden/Boston: Martinus Nijhoff Publication, pp. 79-94.

伝説の「孫七船長」まつわり話《4》

- 孫七先生と東海大学海洋学部草創期 -

その1

元 東海大学文明研究所 中陣 隆夫

1 はじめに

はじめて孫七船長にお逢いしたのは、昭和42年12月、大学教養2年茅ヶ崎の下宿時代、星野通平先生の資源学科合宿に清水校舎に向かったときでした。東海道線清水駅から三保半島村松バス停で下車、鉄道岸壁に係留されている白い船体の観測船が東海大学丸二世でした。タラップから船の甲板へ、船長室のドアが半分開いていて隙間から、ちらっと船長の顔が見えた。肩幅の広い、前髪が額でカールした噂の孫七船長を見た瞬間、異様に輝いていた。それには以下のような経緯がありました。わたしが昭和38年三八豪雪時に富山県立泊高等学校を卒業、大学受験票が大雪でポストにねてしまい、卒業式をまたず上京、それから3年、水道橋の研数学館ほか梯子予備校の末、昭和41年東海大学海洋学部に入りました。海をもとめて2年目の晩秋、明治生まれのわたしの母と同年代の孫七船長に瞬間的な親しみで和らいだものです（写真1）。



写真1 函館港出港の「第四海洋」佐藤孫七船長（右）
（昭和27年ころ；海保編，1951より）

2 松前重義と東海大学海洋学部の創設

東海大学松前重義総長は1962（昭和37）年4月、静岡県清水市三保の折戸に東海大学海洋学部を創設された（写真2）。



写真2 書斎の松前重義東海大学総長（1901-1991）

1957年7月、国際地球観測年（IGY）が国際協力による「一斉観測」、「極前線観測」、南太平洋から南極洋の海況を明らかにする南極観測、日米による太平洋赤道東部の同時観測に拓まったところで、まもなく国際インド洋共同調査（IIOE）が1961年に始まろうとしていた。

当時、日高孝次東大教授は宇田道隆らと米国からの要請もあり国立海洋研究所計画を文部省の測地審議会を経て政府に提出したが一文も認められず、衆議院議員だった松前重義先生に依頼し、科技庁の海洋科学技術審議会に談判した結果、予算復活となった。

これらの経緯から1962年4月、東海大学海洋学部の発足、同日に東京大学海洋研究所(現東京大学大気海洋研究所, 柏市)の開設となった(松前, 1963; 日高, 1968)。深意はわからないが、海洋学部新設時、「水産大学、東京大学、文部省らがいの一歩に反対した」と湘南校舎アイドールホール松前総長の「現代文明論」講義で聞いていました。いずれにしても海洋学部創設の困難さは東大海洋研究所開設の難しさと同じだったと思われる(松前, 1987, 2001)。

日本は世界に冠たる経済大国だが、資源が貧弱である。海洋国家日本を取り巻く海には、無限の未利用資源が眠っている。東海大学の理工学的知識を利用して海洋を開発する、これが日本初の海洋学部創設のねらいだった。母体となったのが、東海大学が戦前から清水市に持っていた水産研究所だったが、海洋学部の校舎は、三保・折戸の商船学校跡地の払い下げをうけていた。海洋学部創立時における松前自筆の書を掲げる(写真3)。

3 孫七船長の大学丸就任のいきさつ

一方、海洋学部創設のころ、須田皖次初代学部長就任(元水路部長)に際しての教員人事が始った。それには昭和27年、明神礁海底爆発で犠牲になられた海洋地質学の泰斗、田山利三郎(水路部測量課長)との出会いに端を発していた。田山は東海大学に非常勤講師として清水に来られ、松前重義・岩下光男先生らと親しくご交誼をいただいていた。

戦後、水路部は荒廃した全国の港湾測量・再調査などで「駿河湾の海底地形図」(水路部, 1949)や、「日本近海の底質分布図」(1949)も刊行された(田山, 1949)。駿河湾の海底地形、底質測量のころ、佐藤孫七は第四海洋丸船長で清水港に入港、東海大水産研究所の岩下光男・井上元雄らと漁場のことで話合っていた。結果、田山利三郎の集中講義から、須田皖次・星野通平(元水路部)の就任、1967年12月の孫七船長の誕生へとつながっていた。

大学丸二世の建造計画が決定したころ、星野教授は佐藤船長に「水路部で死ぬば、泣いてくれる人はせいぜい数十人で、うちの大学に来たら十倍も、百倍も泣いてくれるんだがア、と。単細胞で、ハートの弱いわたしは、無意識に頭を縦に振ったのが身の定めで、星野先生の“泣かぬなら泣かせて見せるほどとぎす”以後、19年半お世話になった」と綴っている(佐藤, 1994)。そして1968年3月1

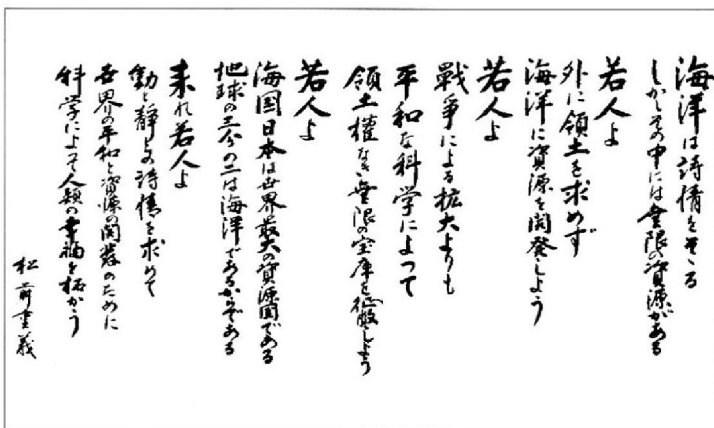


写真3 海洋学部創立時の松前重義の書(松前, 2001より)

さて、海洋学部の看板をかかげる以上、船がなくてはおかしい。文部省は「いらんことをするな」と反対して補助金をくれなかったが「いるものはいる」と、自前で試験船を二隻、取得した。そのうちの一隻が東海大学丸二世(702トン)で、1967(昭和42)年8月4日の進水式となった。



写真4 東海大学丸二世, 東京港晴海埠頭第1回アジア研修航海の出港(1968年3月1日)

日、第1回アジア研修航海の出帆となったのである（写真4；岩下，1984，1991；中陣，2014b，2015a，b）。

4 孫七船長と海洋観測

1) オホーツク海の測量と金鉱探し

話しを学生時代にもどそう。大学3年生の夏6月から3か月間、北見沖「オホーツク海の沿岸測量」に参加した。小樽の第一管区水路部・渡辺鬼子松班長に、メンバーは塚本孝雄・池田清・樋渡英・藤森公彦・石崎和夫・金子俊郎・山口裕・内海深尋氏らでわたしは須貝憲宏、星沢巡君と参加した（写真5）。



写真5 北見沖オホーツク海調査の人々（小樽行き網走駅構内で、右から須貝憲宏・渡辺鬼子松・池田清・山口裕・塚本孝雄・樋渡英・中陣隆夫，1968年8月28日）

この夏8月21日、孫七船長の大学丸二世が北海道一周「海底金鉱探し」航海（星野通平団長、岩下光男教授ら）で、滞網中の網走商港岸壁に入港してきた。孫七船長就任から半年後のことで、測量班のわれわれも紅白の測量旗で埠頭に迎え、夜には網走海上保安クラブで水路部OBと旧交を温められた。われわれインターン実習生は翌日からの網走市民への一般公開を手伝った（写真6；中陣，2007）。その後も、北大流氷観測施設や道立オホーツク流氷科学センター（紋別市）との交流は、いまもつづいている（中陣，2017）。

2) 3回の海底のヒート・フロー観測

4年生の7月に東京世田谷の測機舎から海



写真6 オホーツク海、網走商港岸壁の大学丸二世の一般公開に訪れた孫七船長のご親族、中嶋良子・光子・ひなこの三姉妹と（1968年8月22日）

底地殻熱流量測定器（以下、ヒート・フロー測定器）が届いた。このころ東大地震研究所・東海大海洋学部との共同観測、南雲昭三郎研究室の三陸沖海底地震観測があり、わたしは気仙沼から乗船し海底地震計の引き上げ作業に参加した。当時の孫七船長「海底地震計引き上げ作業」マニュアル（青焼きA4判，7ページ）は今も残っている（図1；佐藤，1969；南雲，1970）。満天に広がる星座の夜間作業で、係留ブイ回収作業で切断された海底地震計は引き上げられ貴重な地震記録も回収された。帰路、三陸沖大陸斜面で孫七船長のワイヤーさばきでヒート・フロー測定器のテストがおわり清水に帰港した（中陣，1970，2007）。

ヒート・フロー測定航海（1）：北西太平洋

この秋9月から3か月間、星野通平先生や上田誠也（東大地震研）先生らのお世話で、安井正・長坂昂一（舞鶴海洋气象台）さんと、

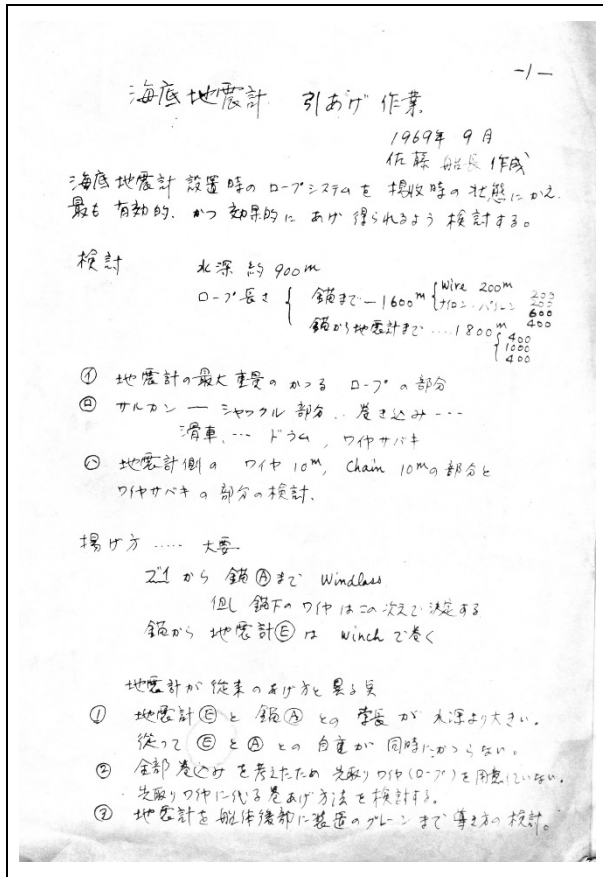


図1 「海底地震計引上げ作業」マニュアル (佐藤孫七, 1969年9月)

日米科学協力研究「太平洋の地球物理観測」に出かけた。上田先生や渡部暉彦(助手)・野村拳一(院生)さん、海外の学術論文から多くを学んで観測・測定航海に乗りこんだ。前半は、安井さんとF. V. Hant号(750トン; 横浜港から横浜港)で、後半は、長坂さんとUSNS Silas Bent号(2,634トン; 横浜港から佐世保港)で17回の観測に成功し、翌年春の日本海洋学会で報告された(Nagasaka et al., 1970)。T. Hilde, J. M. Wageman, A. D. Raff博士ら米国スクリップス海洋研究所や米海軍海洋研究所の仲間との交流もでき、年末に佐世保港で下船、学部に戻り星野教授、孫七船長に帰国報告したがこの体験は卒業研究の良い根源となった(中陣, 2007)。

ヒート・フロー測定航海(2): 卒研の駿河湾航海

翌1970年2月、駿河湾での卒論研究、海底

ヒート・フロー観測航海を行った。これには、東大地震研上田誠也研究室院生の野村拳一さんも東京から5メートルのセンサー槍をトラックで持参された。雪のちらつく寒い駿河湾でデータもとれ卒業研究は成功し、孫七船長の地球の体温をはかるデッキ教育を受けた(中陣, 1970)。翌月に卒業し、東海大出版会編集部に入り、松前重義構想「海洋科学基礎講座」(全13巻)の編集をさずかった。

ヒート・フロー測定航海(3): 海洋実習の講師

編集部1年目の夏、速水頌一郎海洋学部長から理事長松前重義出版会会長あて「講師派遣の依頼」証がとどいた(図2)。松前会長はわたしの直属上司で、夏の2年生海洋実習のヒート・フロー測定講師要請の依頼だった。孫七船長指揮のもと後輩たちとのたのしい駿河湾実習となった(写真7; 中陣・安間, 1972)。

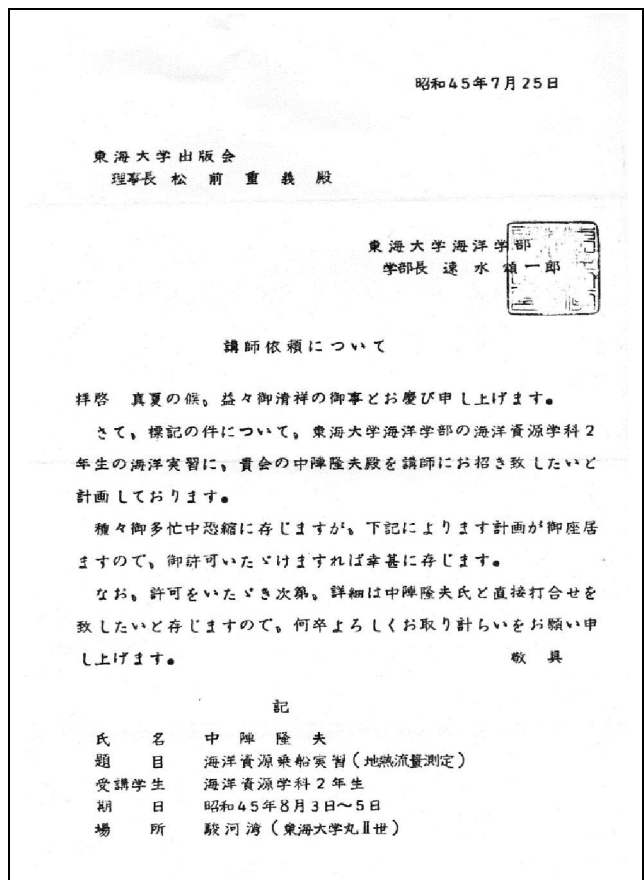


図2 「東海大学海洋学部講師依頼」証 (1970年7月25日付き)



水港金指造船ドックに孫七船長を訪ねた。孫七先生は、「船長とは最高のコマンダーで行政官でもあり、外交官でもあるが観測する場合は一兵卒として班長のめいれいを着実に実行しなくてはならない」と話された。加納さんから麦わら帽子姿の船長像は予想外だったらしく『航海記』企画の執筆を断ってきた。そこで熊本在住の本田さんの「東海大学新聞」連載となり、のちに単行本『キャプテン孫七航海記』（1993）が出来あがったのである。

松前達郎総長はその序文で「キャプテン孫七は、学部草創期から名物船長として学生や教員に慕われ、愛されてきた。この精神は、今後も多くの若人を海に駆り立てるだろう」とたたえられている（松前，1993）。

わたしは2001年から3年間、東海大札幌校舎に転勤したが、真駒内宿舎に孫七船長から由良海岸の絵はがきをいただいたが、あれこれ気配りある船長でした（写真8）。



写真7 駿河湾海洋実習作業中の孫七船長（上・中央）と中陣講師（上・左）、孫七船長と耐圧ケース調整作業（下）（1970年8月4日）

5 『キャプテン孫七航海記』の企画と出版

出版部編集時代に、約250点あまりの学術・専門書の編集・出版にあたった。その一冊に本田節子著『キャプテン孫七航海記』（1993）がある。それには以下のような経緯があった。

このテーマは学生時代から出版企画を温めていた。就職したてのころ、当時中央公論社の新書編集長だった加納信雄さんと暮れの清

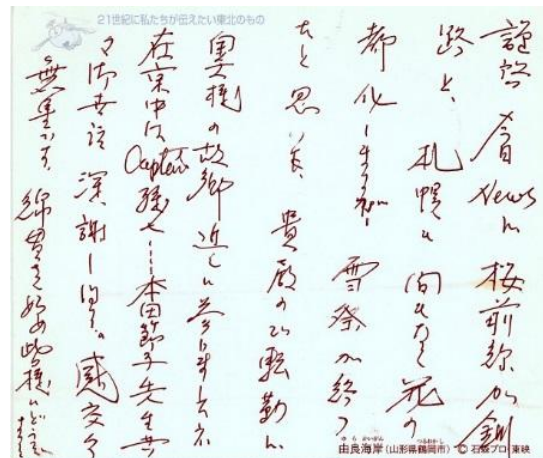


写真8 孫七船長からの絵はがき（2001年5月18日）

次号（183号）に続く

プランクトンが語る海の環境と生態系《2》

三洋テクノマリン株式会社生物生態研究所長 谷口 旭

181号 プランクトンが語る海の環境と生態系《1》

1 生態系と食物連鎖

生態系は、ある地域に生息する全生物とそれを取り巻く環境とが相互に影響しあうことによって安定的に維持されています。安定性が高いので、一見すると静的で、単なる生物集団のようにみえますが、内部をみると極めて動的な系であることが分かります。ある環境において、すべての構成メンバーに必要な有機物エネルギーを流通させるように生物集団のネットワークができています。生態系とは、このネットワークだといえるかもしれませんが、このネットワークと有機物エネルギーの流れは環境変化に対して柔軟に応答し、系としての自律性を維持します。広大なサファリパークや生物多様性が高い里山などは、景観は生態系に似ていますが、人間がエネルギーや物質を投入あるいは除去しなければ維持できない（自律的ではない）ので、真の生態系とはいえません。

エネルギーの流れと物質の循環は生態系の基本的な機能です。その恩恵を受けているのも、それを駆動しているのも、生物です。生物集団の中には植物がいて、太陽エネルギーの下で無機物からエネルギーに富んだ有機物を光合成します。その植物を摂食する植食者、さらにそれを捕食する肉食者、そしてそれらの排泄物や遺骸を無機化する分解者は、すべて植物が有機物に取り込んだ太陽エネルギーを利用していることとなります。この関係がいわゆる食物連鎖で、これによってエネルギーと物質が生態系を構成するすべての生物へ

と移送されます。それぞれの生物は自分のところへ移送されてきた有機物を摂取し、代謝してエネルギーを取り出し、生命活動を営みます。その結果、エネルギーは順次消費され、最終的に生態系外へ失われます。しかし、物質がなくなることはなく、変質し姿を変えながら生態系内を循環します。すなわち、食物連鎖の最後の段階までにはすべてが無機物に戻りますが、その無機物は、次世代の植物によって新たな太陽エネルギーを取り込んだ有機物に合成され、ふたたび食物連鎖を通して生態系内を循環します。これら一連の現象を、「エネルギーの流れ」および「物質の循環」といいます。このように、生物自体が生態系の構造と機能を決定しますが、その仕組みが食物連鎖だといえます。

以上では、分かりやすく生物群集の関係をわずかに4段階の食物連鎖（植物→植食者→肉食者→分解者）に単純化しました。実際の生態系には非常に多くの生物種がいて、食う一食われるという関係（捕食被食関係ということにします）は大変複雑です。同じ捕食者が多種類の餌生物を摂食し、また、同じ種が多種類の捕食者に食べられているのがふつうです。幼体(子供)世代と成体(親)世代で捕食被食関係が異なること、さらにその関係が逆転することもあります。このように複雑な関係を直線状の一本の連鎖として表すのは不適當です。多数の連鎖が交錯して網状になっているので、食物網というべきだとされます。

図1は大西洋のニシンについて、成長に依

じて食性が多様化することを詳細に解明した、今では古典ともいふべき正統な研究の成果です。わずかに1種類のニシンでさえこれほど複雑な捕食被食関係を持っているのです。生態系内にはこのような魚類が多種類いるうえ、この図には一部しか描かれていませんが、これらの魚類を捕食する生物も多数いるはずで、そう考えると、現実の食物網が大変複雑であろうことは容易に想像されます。その複雑さを完全に描き出すことは、ほとんど不可能です。しかし、今大切なのは実態を描き出すことではありません。複雑であるからこそ生態系は自律的、持続的でありうるということを理解することが大切です。多種類の生物による複雑な絡み合いでは、その中の一部の生物が増えたり減ったりしても全体としては安定を保つことができます。これが生態系の自律性と持続性の基盤です。それゆえ、生物多様性は重要だといわれるのです。

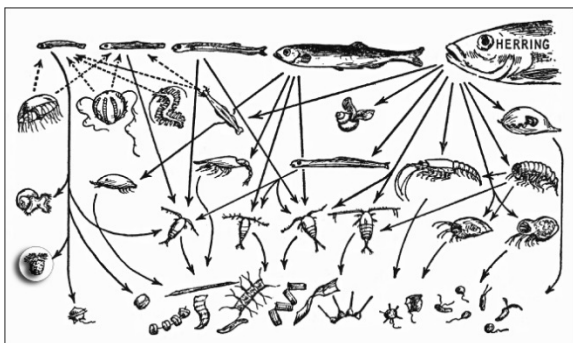


図1 大西洋ニシンをめぐる食物網と成長に伴う変化 (Hardy³⁾ より引用)

仔魚のときは基礎生産者である植物プランクトンや原生動物を摂食する一方、クラゲやヤムシに捕食される。稚魚から幼魚になるにしたがって植食性動物プランクトンを食べるようになり、成魚になると肉食性動物プランクトンや他の魚類の稚仔魚をも食べる。成長するにしたがって食性が多様化するとともに食物連鎖の上位へと上っていく(食地位が高くなる)ことが示されている。

生態系は食物網を骨格として成立しているのですから、食物網の構造と各生物の生産力などを調べれば生態系を数式モデル化することができ、例えば漁業や海洋開発事業が海洋

生態系に及ぼす影響をシミュレートできるはずで、その試みは数多くあります。しかし、食物網の構造が極めて複雑なうえ各生物の生産特性には柔軟性があるので、いまだ成功した例をみません。自然の生態系を正確に観察(モニタリング)する以上の成果を望むことは、当分できそうにありません。今のところは、主要部ではあるけれどもごく一部にすぎない部分だけをモデル化して、ある外力の影響を、絶対値としてではなく傾向として予測するのが現実的な応用水準だといえます。

ただし、モデルの科学が無効だということはありません。堅実なモニタリングを重ねることによって高品質のデータを集積していけば、いずれ満足できる水準の生態系モデルができるはずで、

2 植物プランクトンの適応—そのはじめに

食物連鎖は生態系を単純化しすぎていますが、光合成植物の重要性を明快に示しています。植物の光合成生産が食物連鎖の出発点であり、その上に生態系が成立していることが理解できます。このことから、植物の生産を一次生産とか基礎生産といいます。本文では基礎生産のほうを使うことにします。前回みたように、光と栄養塩が不足しがちな海洋では、微細な植物プランクトンが基礎生産者になっています。海洋生態系では植物プランクトンがすべての始まり、海洋生態系の基礎です。それゆえ、海洋生態系のことを理解するためには、まず植物プランクトンの生態を知らなければなりません。

海洋は基本的には穏やかな環境で、風や昼夜の気温差などの影響を受けて緩やかに対流混合している表層と、ほとんど停滞している下層とが分離成層しているのが常態です(図2)。この状態は、北方の海域では春から秋まで続き、南方の海域では半永久的に続いています。本誌の読者にはおなじみのことでしょう。この成層環境に対して、表層でしか生き

られない植物プランクトンが果たした適応が「小型化」でした。停滞した下層へ一旦沈降すると、植物プランクトンは再び表層へは戻れません。表層内に留まっていれば、ときには風が吹いて表層水が強く混合し、プランクトンは表面へ戻してもらえます。小型化して、できるだけ長く表層に留まることで生存の機会を確保しているわけです。また、成層した海域の表層は貧栄養環境なので、栄養塩摂取効率を高めるためにも小型化が有効であることも、前回みたとおりです。今回は、植物プランクトンの適応を、もう少し詳しく述べようと思います。

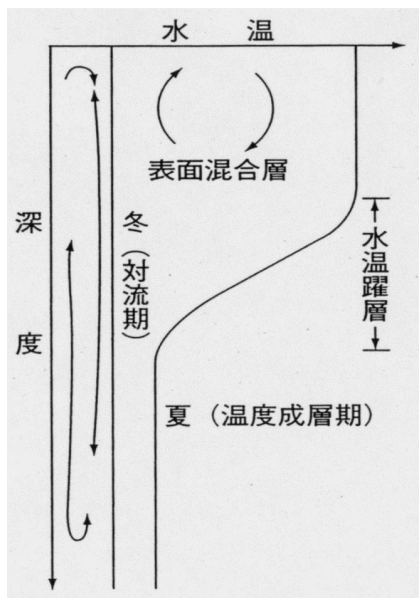


図2 亜寒帯海域における水柱の対流と成層
冬には深くまで対流混合し、下層の栄養塩を表層へ供給する一方で、浮遊している植物プランクトンを暗い下層まで分散させる。夏には成層するので、植物プランクトンは明るい表面混合層に留まることができる反面、下層からの栄養塩供給が停止する。すなわち、成層あるいは対流は、植物プランクトンにとって二律背反的な環境条件として作用する。

3 植物プランクトンの浮遊適応は不完全

前回、植物プランクトンが小型であるゆえに海洋表層で繁栄できると述べましたが、図

3にその理由が示されています。この説明の背景には、植物プランクトンは必ず沈むという前提があります。そして前回、植物プランクトンは沈むことをも必要としていると述べました。その説明をします。

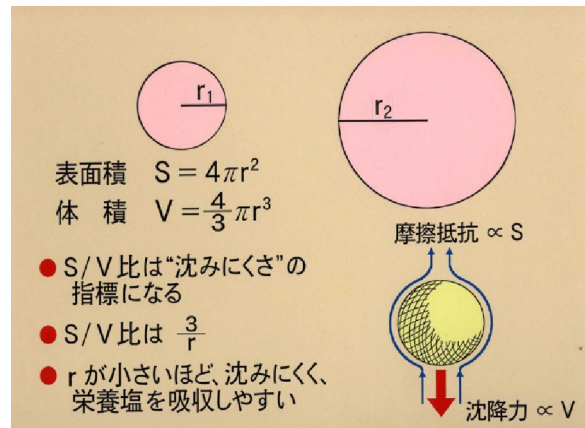


図3 植物プランクトンが小型である理由
植物プランクトンが海水中を沈降するとき、その沈降力は細胞の質量（細胞体積 V に比例）で決まる一方、沈降には海水との摩擦抵抗（細胞表面 S に比例）でブレーキがかかる。立体の表面積と体積の計算式から、摩擦抵抗の沈降力に対する比 (S/V 比) は小型であるほど大きくなるので沈みにくくなること、および、 S/V 比は細胞表面からの栄養塩摂取量 (S に比例) の細胞内での栄養塩消費量 (V に比例) に対する比でもあるから、小型であるほど栄養塩摂取効率が高くなるのが分かる。

プランクトン学の教科書には「浮遊適応」という語が出てきます。明るい表層に浮遊していないと植物プランクトンは光合成できないし、植物プランクトンがいる表層に浮遊していないと動物プランクトンは餌にありつけない、だからプランクトンは浮遊し続けるように適応進化してきた、という説です。欧米の「Plankton: プランクトン」、日本語の「浮遊生物」という語は、このことに由来します。ところが、植物プランクトンも動物プランクトンも、必ず沈みます。その事実を見て、ある学者は、プランクトンはいまだ浮遊適応に成功していない生物だといいました。しかし、この解釈は間違っています。浮遊適応とは沈まないこととだけ解釈するのが間違いなので

す。

図4は植物プランクトンの一例です。種によって形が違うだけでなく、単細胞であるにもかかわらず、いずれも複雑な形態をしています。ふしぎなことは、せつかく小型化したのに、多数の細胞が連鎖して大きな群体を形成することです。わざわざ沈みやすくなるようにしているかのようです。これを米国のSmayda教授⁴⁾は、複雑な形態のおかげで沈降の軌跡はジグザグや螺旋になり、その分プランクトンは長い時間表層にいられ、しかもより多くの海水と接触して栄養塩を摂取できるのだと説明しました。沈まないことが重要なのではなく、ゆっくりと長い軌跡を描いて沈むことが重要だという説です。すばらしい発想の転換でした。これが植物プランクトンの「浮遊適応」です。彼らは沈む性質を温存し、活用しているのです。

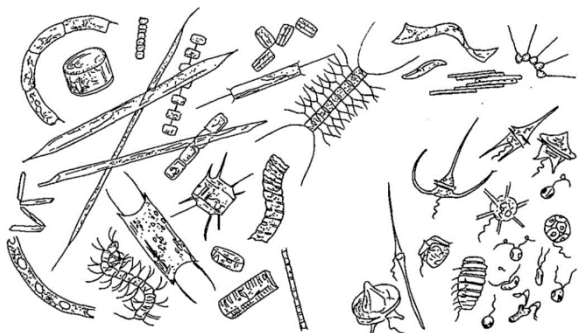


図4 植物プランクトンの一例 (Hardy²⁾ より引用)
左から右上にかけて描かれているのは珪藻類で、中央の鉛筆型および糸巻型の種以外は複数の細胞が連なって、ソーセージ、黄道十二宮 (Zodiac)、串団子、ジグザグ、ゲジゲジ等々複雑な群体を作っている。これらが沈降するときの軌跡が複雑で長くなることが想像できる。右下には群体を作らない種が描かれているが、これらは鞭毛を持っており、自力で浮遊し、また栄養塩を求めて泳ぐことができる。

4 摂食防御も不完全

成層が持続すると下層からの栄養塩供給は途絶え、表層は貧栄養環境になります。しかし、植物プランクトンは表層に留まらなけれ

ばなりません。そのとき必要な栄養塩としては、表層内で無機化される有機物に由来するものしかないといえます。自分が有機物に合成した栄養塩が水中へ解放されるのを待つわけです。これが、表層での栄養塩再生の主要な過程になっています。

表層海中にはさまざまな有機物があり、いずれもいつかは分解されて無機物になり、栄養塩を解放します。最も大量に存在するのは溶存有機物ですが、その大部分は極度に難分解性です。それゆえ、温暖化の原因となる炭素のシンクとしては評価できますが、栄養塩再生源としては高く評価することはできません。次に量が多いのはデトライタス (非生物体粒状有機物) で、沈降しているときはマリンスノーといわれることもあります。生物の糞や抜け殻や遺骸が分かりやすい例ですが、いずれも有機物としてはあまりリッチではないことと、分解速度が遅くて沈降速度が速いため、栄養塩を解放する前に沈降し去ってしまいます。やはり有望な栄養塩再生源とはいえません。

有望なのは、表層に生息する動物が排泄する尿です。動物プランクトンや魚の尿はアンモニアや尿酸を成分としており、有効な栄養塩になります。排泄されるやいなや、まわりの植物プランクトンにすばやく利用されます。魚やプランクトンは、哺乳類とはちがって、尿と糞を一体として排泄します。そのうちの固形物 (糞) はデトライタスとなり、ときにはマリンスノーというロマンチックな名称で呼ばれるようになりますが、一定期間海中に懸濁します。しかし、液体の部分 (尿) が海水中に溜まることはありません。液体だからすぐに希釈されるというわけではありません。植物プランクトンが急速に消費してしまうからなのです。植物プランクトンはこの機会を待ち構えていて、すぐに使う量以上の栄養塩を取り込んで細胞内に貯留することすらできるのです。

ところで、海水中の有機物の量は、溶存有機物>デトリタス>プランクトン>魚類へと、およそ一桁ずつ少なくなっています。尿を排泄する動物プランクトンや魚は、むしろ少ないのです。少なさをカバーする速度で早く排泄してくれないと、栄養塩再生者として有望とはいえません。

動物プランクトンや魚の排泄速度は、摂餌速度にほぼ比例して早くなります。餌をたくさん食べれば排泄量が増えます。ここで、その餌とは何かを考えてみてください。そうです、植物プランクトンなのです。魚類の餌も元をただせば植物プランクトンです。ということは、植物プランクトンは、動物プランクトンの摂食攻撃に対して完全に防御すると、みずからが栄養塩欠乏に陥りかねないということです。実際に、完全に摂食防御に成功した植物プランクトンはいません。例えば、図4にみられる、刺毛や突起をそなえた複雑な形態や大きな群体は摂食攻撃に対する防御だともいわれますが、完全に防御できている例は極めてまれです。ときには動物プランクトンを捕食する魚類の鰓などを傷つけるので、動物プランクトンに利することすらあります。

また、私たちの社会ではときどき貝毒による中毒がニュースになります。これも不思議な現象です。毒を有する植物プランクトンを食べた貝が死ぬのではなく、その貝を食べた人間が毒にあたるのです。やはり、天敵に利するかのような現象です。これらのことから、植物プランクトンの摂食防御が不完全だということが理解できます。むしろ、摂食から逃れようとはしていないとさえ感じられます。

5 摂食されて得られる利得

しかし、食べられた個体の生命はそこで終わりです。摂食防御が完全だったならば植物プランクトンはもっと繁栄していたかもしれません。反対に、摂食防御が不完全だったと

いうのならば、なぜ植物プランクトンは今も絶滅しないでいるのか、それがふしぎです。どう考えればよいのでしょうか。

植物プランクトンの種類数はおびただしく、同じ場所に百種類もが一緒に棲息していることも珍しくありません。しかし、動物プランクトンの種類も多いので、どんな植物プランクトンも必ずいずれかの動物プランクトンに摂食されます。それでも絶滅する植物プランクトンがないのは、増殖速度が動物プランクトンよりもはるかに速いからです。どれほど早いかというと、栄養塩と光が不足しないならば1日で2倍に増えます。植物プランクトンは単細胞生物なので、1細胞が2細胞に分裂するということです。珪藻プランクトンならば、1日で4ないし8細胞に増えることができます。そのうち1細胞が生き残れば、群集を維持することができます。むしろすべてが生き残ると群集が大きくなりすぎ、やがて栄養塩が枯渇し、群集全体が死滅するでしょう。栄養塩制限環境である海洋では、群集の一部が摂食されることは必要なことなのです。この章の表題「摂食されて得られる利得」とはこのことを指していますが、どうしてこういうことが成り立つかを理解していただくには、もう少し説明が必要です。

陸上生態系では、草食動物は、肉食動物の捕食圧によって増えすぎないように制御されており、そのため植物が食い残され、緑ゆたかな景観が維持されていると説明されます。バッタやガの幼虫が異常発生して植物を食べつくすこともあります。それはまさしく異常な、例外的な現象です。しかし、プランクトンの世界はちがいます。植食性動物プランクトンが魚類の捕食圧で制御されているようすはなく、彼らは植物プランクトンを食べられるだけ食べているようにみえます。ところが、動物も植物もプランクトンは海水中にばらばらに離れて懸濁しているので、動物プランクトンは植物プランクトンを食べつくすこ

とができません。牧草を食べつくすことができる羊や牛などとは異なっています。動物プランクトンのこの不徹底な摂食能力のおかげで、植物プランクトンは絶滅しないのだといわれています。

ところで、食べられてしまった細胞はかわいそうでしょうか。そうではありません。食われた細胞も生き残った細胞も、クローンだからです。植物プランクトンは無性的に二分裂増殖しますから、どの細胞も同一の個体だといえるような集団です。食べられたのも「自分」、その結果得られる栄養塩で増殖するのも「自分」なのです。1細胞でも生き残れば、種が絶えることはありません。このように考えてくると、植物プランクトンにとっては、完全な摂食防御をしなかったのが良かったという結論に達します。完全な摂食防御をしないことで再生栄養塩を得ているので「摂食されて得られる利得」と表現したのです。意外な生存戦略です。

食べられることで生存を確保するなどということは、ふつうには考えられないことです。高等動物でも、自己を犠牲にして種の生存をはかる利他的行動が知られています。これを英国の Dawkins 博士¹⁾ は、遺伝子は個体を操って犠牲たらしめ、遺伝子自体の生存を確保する利己的な存在だと説明し、評判になりました。しかし、高等動物はクローン集団ではないので、犠牲になる個体と生き残る個体の遺伝子は同一ではありません。将来の種の繁栄にとって、犠牲になる遺伝子の方が生き残る遺伝子よりも優れている可能性があります。したがって、高等動物は基本的にはどの個体も捕食から免れようとします。高等動物に限らず有性生殖で繁殖する生物（ふだん目にする生物のほとんどがこれに相当します）にとっては、特に繁殖前に摂食されることは大きなマイナスです。ところが、植物プランクトンはクローン集団なので、常に一部が摂食されることによって動物プランクトンの排

泄を促し、他の一部が常に再生栄養塩を獲得するという矛盾なく実現できるわけです。植物プランクトンはこの生存戦略をとるために、陸上の高等植物が獲得したような有性生殖、大型化、長寿命への進化をしなかったと解釈することができます。

参考文献

- 1) Dawkins, R. (1976): *The Selfish Gene*. Oxford University Press, London, 224 pp. (日高敏隆・岸由二・羽田節子・垂水雄二訳『利己的な遺伝子』紀伊國屋書店, 1991年, 増補新装版, 558 pp., 2006年)
- 2) Hardy, A.R. (1956): *The Open Sea. It's Natural History: Part I, The World of Plankton*. Collins Publ., London, 335 pp.
- 3) Hardy, A.R. (1959): *The Open Sea. It's Natural History: Part II, Fish and Fisheries*. Collins Publ., London, 322 pp.
- 4) Smayda, T.J. (1970): *The suspension and sinking of phytoplankton in the sea*. *Oceanogr. Mar. Biol.*, 8: 353-414.

中国の地図を作ったひとびと 《3》

アジア航測 株式会社 名誉フェロー 今村 遼平

180号 中国の地図を作ったひとびと《1》

181号 中国の地図を作ったひとびと《2》

3. 劉徽（三国時代）

魏・晋・南北朝の時代は、中国古代数学体系が大きく進歩して地図作成面でいえば、測量手法が完全化された時代である。この時代（3～6世紀）には、秦・漢代の《周髀算経》や《九章算術》を基礎に、次のような一連の著名な数学の著作が生まれている。

- (1) 《九章算術》（『海島算経』）
- (2) 孫氏算経
- (3) 夏侯陽算経
- (4) 張邱建算経
- (5) 五曹算経
- (6) 綴術

劉徽（225—265）は史書に残る記述は少ないが、祖先は漢代の諸侯で、**祖冲之**（429—500）と共に三国時代随一の数学者で、現在の山東省鄒平県出身の魏の人である。《周髀算経》や《九章算術》のわかりやすい解説注釈書を作り、古代数学の普及に尽した功績は大きい。とくに、263年に著した《九章算術》の注釈書・《九章算術注》の最後（第10章）に、彼独自の《重差理論》を付け加えたことは、測量・地図作成上きわめて大きな功績である。

（1）《九章算術》と劉徽の事績《九章算術注》

《九章算術》は後漢の初めころに本になった古典的な数学の教科書で、全部で246個の練習問題とその解法からなる。内容は多方面にわたり、連立方程式の解法、分数の四則演算、正負数の演算、幾何学的な図形の面積や体積の求積計算などが含まれている（表1）これらは当時、世界で最も進んだ数学の方法



図1 劉徽の肖像（百度による）

を記述した教科書に位置づけられ、劉徽は魏の景初4年（263）に、その注釈書である《九章算術注》を著した。

原本となる《九章算術》の解法はかなり原始的で、必要な証明に乏しかったため、劉徽はこれらすべてを補充する新しい証明法を示した。彼はその証明中の多方面で創造性を発揮している。彼は世界で最初に十進法による小数の概念を提唱した人で、小数を使って無理数の立方根を表した。代数の面では正確に正数と負数の概念とその加減演算の法則を提唱する一方、線型方程式の解法を改良した。

表1 《九章算術》の内容（筆者が表化）

区 分	内 容
(1) 方田 (土地の測量)	<ul style="list-style-type: none"> ・矩形・不等辺四角形・三角形・円・弓形と環状形の面積を求める正しい法則が示されている。 ・分類の加減乗除の法則や約分9法則が示されている。 ・円の弓形的面積は $1/2 (c+s)s$ と示されている (s: 弓形の円弧部分、c: 弦)
(2) 粟米 (粟と米の割合)	<ul style="list-style-type: none"> ・百分率と比。
(3) 衰分 (比例区分)	<ul style="list-style-type: none"> ・協力して得た成果を俸禄にあわせて公平に分配する方法を論ずる。 ・「衰分」は、種々の品質の品物についての徴税に関する問題と比によって解かれる等差数列と等比数列についての問題を含む。
(4) 小廣 (広さの漸減)	<ul style="list-style-type: none"> ・面積と一辺が既知の図形の辺を求めることを扱っている。 ・この章では、平方根と立方根の解法に関するものが多い。
(5) 商功 (土木工事に関する諮問)	<ul style="list-style-type: none"> ・立体図形の体積の測定と決定の問題にあてられている(角柱・円柱・角錐・円錐・円錐台・四面体・楔形)。壁・市の城壁・堤防・運河および川が考察されている。
(6) 均輸 (公平な税収)	<ul style="list-style-type: none"> ・仕事の割あて方の問題。ことに、租税として徴収された人民の穀物を、その集積地から首都まで人民が運送するのに必要な時間に関する問題。人口にしたがって課税負担の割りあてに関する比の問題。
(7) 盈不足または盈朒 (不足と過剰)	<ul style="list-style-type: none"> ・これらのことはどちらも満月および新月に用いるもので、「多すぎるか少なすぎる」という状態を指している。この章は主として、$ax=b$ という形の方程式を解くために使われる規則で、中国人の代数的な発明である「假定法」にあてられている。
(8) 方程 (表作成による計算法)	<ul style="list-style-type: none"> ・矩形のます目でできた表に、種々の量をならべたものであった。この章は、正と負の数を両方とも用いた連立1次方程式を扱っている。これは世界文明の中で、負の量の最初の出現である。 ・この章の最後の問題は、4個の方程式と5個の未知数を含んでいるから、不定方程式の徴候を示している。
(9) 勾股 (直角三角形)	<ul style="list-style-type: none"> ・『周髀算経』で既に記述されている直角三角形の性質に関して、代数的用語を使って論述している。この章の24問中の20番目は、方程式 $x^2+(20+14)x-2 \times 20 \times 1775=0$ を含んでいる。

幾何学の面では、“割円法”(図2)を提唱した。つまり、内接あるいは外切する正多辺形の極限法を用いて、円の面積と円周を求める方法を提唱した。彼は直径2尺の円に内接する正六角形から割円を始めて、順次正12角形、正24角形・・・と次第に細かく割円していき、正多角形の面積と円の面積との差を次第に小さくしていった、正192辺形で科学的に円周率 $\pi = 3.14$ ($157/50$) という値を求めた。さらに、割円が不可能になるくらいまですると、ほとんど円周に一致するという考えのもとに、最終的には正3072辺形の面積を計算して、円周率 $\pi = 3.1416$ という値 (3.14 と $64/625 \sim 3.14$ と $169/625$ の間と算出) を求めた。この劉徽の提唱した円周率を求める科学的な手法は、その後の千余年にわたり、中国の円周率計算が世界的に最先端の地位を占めることになった。

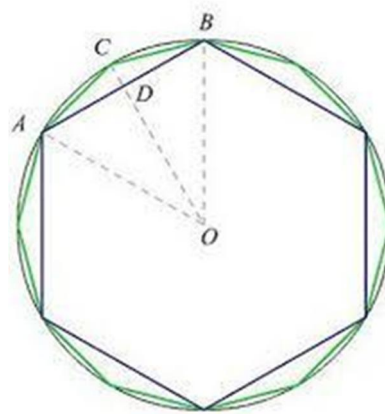


図2 割円法(正6辺形、正12辺形の例)

古代ギリシャのアルキメデスは外接する96角形を使って $\pi < 22/7$ という値を求め、内接する96角形から $7234/11 < \pi$ を求めている。これから比べると劉徽の値は少しばかり正確に算出されているが、祖冲之の値($3.1415926 < \pi < 3.1415927$)¹より精度がかなり悪い(《隋書》卷16・律曆書・上)。欧州で祖冲之の値と同じ値が算出されるのは、1593年のヴィエートによるもので、祖冲之より約1100年遅い。

劉徽の数学上での貢献は極めて大きい。無尽(極限)の開方問題(平方根・立方根など累乗を求める計算法)に“求徽数”という思想を提唱した。その方法は後代に求められた無理数の根の近似値を求める方法に一致している。線型方程式の解法の中で彼は、直接法よりもさらに簡便な互乗相消法を創造したが、これは現在の解法と基本的に一致している。“不定方程式”を最初に提唱したのも彼である。彼は等差級数のn項の和の公式を確立した。そのほか多数の数学概念を提唱し、定義した。たとえば、面積や方程式(線型方程式)、正負の数、などなどである。

劉徽は、正確な判断が広く認められるには、証明できることが前提だということを提唱した。彼の推論の多くは、証明がすべてロジカルで、大変厳密であった。彼は古来の《九章算術》のすべての内容を完全に掌握していて、それらに自分で新しい解法を提示し、基礎的な公式を確立した。劉徽は彼独自の体系をなした著作は著してはいないが、豊富な数学の知識を駆使して古来の《九章算術》に注釈を付け加えたいわゆる《九章算術注》を著したことが、歴史的に注目される。

彼が割円法で提唱した“円を次々に細かく分割して行って割円が不可能になるのをもって円周との差がなくなる”という考え方は、

中国の古代極限観念の佳作といえよう。彼は著作《海島算經》(正しくは《九章算術注》)の10章に彼が独自に付け加えた測量のための数学—重差理論—で、唐時代になって李淳風がこの部分だけを独立した教科書《海島算經》と名付けたもので、劉徽がこの題名で著したわけではない)の中で、九つの測量問題(演習例題とその解法)を精選して書いている。これらの代表的な例題は極めて創造的かつ複雑である点で後代、西欧の注目を集めた。特にその解法がロジカルでしかも直観的かつ敏速な点で注目された。

(2) 個々の成果

(2.1) 古代中国の数学体系の整理

劉徽の数学上の成果は大きく見て二つの方面に分けられる。その一つが中国の古代数学体系を整理し、まだ曖昧であった理論的な基礎をしっかりと固めたことである。彼はその方面のことを《九章算術注》の中に集中的に表現した。その内容は次に示すように、かなり完成度の高い理論体系である。

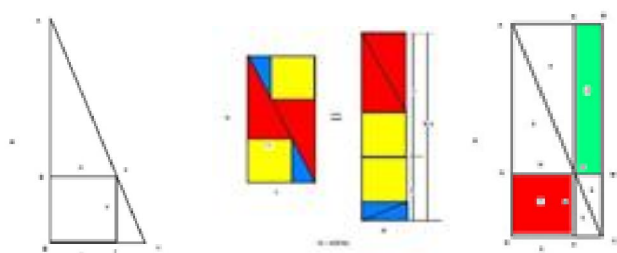
1) 数系理論

- (1) 数の同類と異類を用いて、通分・約分・四則演算を明らかにして繁分数²化の簡単な演算法則をあきらかにした。開方術(冪根を求める算法)の注釈の中で、彼は無尽(極限)開方の意義の出発から、無理方程式の根を求める方法を創造した。
- (2) 等式演算の面では、まず“率”に対してかなり明確に定義し、また、墨乘・共約・斉同(同価)など三種の基本演算の基礎を確立して、数と式演算の統一理論の基礎を確立した。彼は“率”を用いて古代数学の中にある“方程式”を定義した。すなわち、現代数学の中の線型方程式(一元一次方程式)を解く際に、マトリックスで解けるようにしたのである。

¹ 実際の計算では、疎率=22/7、密率=355/113を用いている。

² 分子・分母の一方または双方が分数からなる、複合分数のこと。

(3) 勾股理論 (中国式ピタゴラスの定理)
 面では、ピタゴラスの定理とピタゴラスの定理を使った計算原理を逐一論証し、勾股測量法を発展させて、“勾中容直”³の類似した典型的な図形の類的典型図形を解析し、中国特有の相似理論を確立した(図3)。



A : 勾股容方 B : 勾股容方
 の幾何学的解 C : 股中容直

図3 勾股中容方の例 (意味を考えてみてください)

2) 面積と体積に関する理論

出入相補・盈補虚原理⁴(図4)および“割円法”の極限方法を使った“劉徽原理”を提唱し、多種の幾何学図形や幾何学体の面積や体積の計算方法を提案した。この方面での理論的価値は、今なお輝かしい成果とされている。

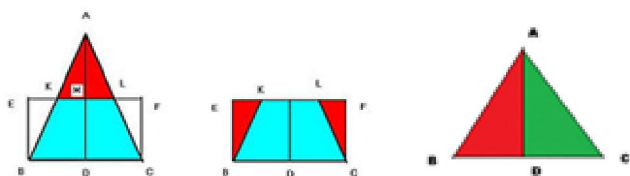


図4 出入相補・盈補虚原理を説明する図

(2. 2) 劉徽独自の新しい理論の提唱

劉徽の二つ目の成果は、古来の伝統数学の基礎の上に自分の創見を提唱した点である。この方面での主要な成果は、以下に示すのが代表的な創見である。

(1) 割円法と円周率：彼は《九章算術？円田法》にある割円法を用いて、円の面積の正確な公式を証明し、さらに、円周率の計算の科学的方法を考案し

た。彼はまず、円に内接する正6辺形から割円をはじめ、正12辺形、正24辺形・・・と毎回辺数を倍増していった。正192辺形の面積を計算した結果から、 $\pi = 157/50 = 3.14$ を得た。さらに正3072辺形の面積から $\pi = 3922/1250 = 3.1416$ という値⁵(この値は“徽率”と呼ばれている)を得ている。

(2) 劉徽は、《九章算術？陽馬術》の注の中で、無限分割の方法を用いて錐体の体積を求めるとき、多面体の体積計算での“劉徽原理”を見出して、広く提唱した。

① “牟合方盖”説：《九章算術・開立円術》の注の中には、彼は球体の体積公式 $V = 9D^3/16D$ (Dは直径) という不正確な値を提唱している。そのとき、牟合方盖という幾何学模型を引用している。この著作で使った幾何学模型の“牟合方盖”というのは、二つの円柱体の二つの軸が相互に垂直に交わっているとき、交わり部分の円柱体の貫交部分(図5)のことである。

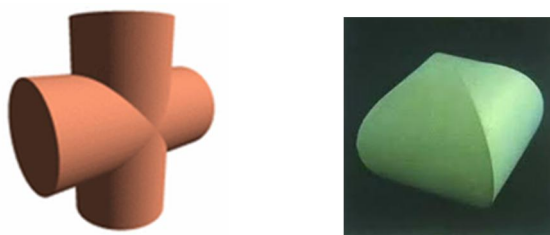


図5 牟合方盖
 (左:円柱体の交わり 右:その貫交部分の形態)

② 方程式の新しい解法：《九章算術・開立円術》の注の中で、彼は線型方程式の新しい解法を提唱し、これを比率算法の思想に運用した。

③ 重差法：彼の自著《海島算経》(正しくは自著《九章算術注》)の第10章である

³ 直角三角形を使い、その中に方形・矩形・直角三角形を作って、容易に面積を求める方法。

⁴ 古代中国数学の中で「幾何図形の面積あるいは体積を求める原理。」

⁵ この値は祖冲之の“約率”より精度は良くなっているが、“徽率”より精度が悪い。

が、唐代に李淳風がこの部分だけを独立書《海島算経》として出版したため、この名で呼ぶことが多い)の中で彼は重差(複数回測標を使って測定する手法)を採用して、連索と墨矩などの測高・測辺の方法を提唱している。なお彼は、重差法を使って2回測望(直角三角形の相似法を2回用いて遠方を望み見て測量する方法)し、さらには3望、4望・・・と測望方法を発展させている。インドでは7世紀に、欧州では15~16世紀に2回測望する方法の研究が始められている。劉徽の仕事は中国古代数学の発展に対して深淵な影響を与えただけでなく、世界の数学史上、崇高な歴史的地位を確立した。こうした劉徽の偉大な貢献は“中国数学史上のニュートン”に相当すると称賛されている。

劉徽は《九章算術》の解説書を書いたとき、その中の“重差”の部分詳しく著述して、《九章算術》の最後に「10章」として測量専門の章を付け加えた。彼はこの書の自序の中で“およそ[山頂などの]きわめて高い所を望み、[谷などの]深いところをはかり、それを遠方から測るには、「重差」(同一地点を遠近2地点から望んで、その差をもとに高さを算出する方法)を用いるが、その際必ず勾股定理(ピタゴラスの定理)を使って重差の率をだすものである。このため重差という”と説明している。

劉徽は重差理論を次の(1)~(3)三つに分けての理論と、以下に示す九つのタイプの練習問題とで展開している。

- (1) 重表法・・・測表(測標:ノーモン)を2回使って(2地点から)測定する方法
- (2) 累矩法・・・直角三角形を2回使った測量法
- (3) 連索法・・・二つの測表と1条の測量

縄を使う方法。孤立して離れた目標物の測量にはこの方法で3回(3望)とか4回(4望)観測する。

- 海上から島の頂上の海面からの高さを測定する方法
- 丘の上の樹の高さを測定する方法
- 遠距離から都市の城壁(縦・横の幅)の大きさを測定する方法
- 峡谷の深さを測定する方法
- 丘の上から下の平原に立つ塔の高さを測定する方法。
- 離れた地点から、河口の幅を測定する方法
- 底まで見える透明な水をたたえた清淵の深さを測定する方法
- 丘の上から川幅を測定する方法
- 山の上から都市の大きさ(都市の縦・横の幅)を測定する方法

劉徽が著した《重差》の自序の中で、表(測量用の標柱:ノーモン)と直角三角形の相似形を使った測量の進め方について概要を、次のように要約・力説している。

“高さを測る場合は、重表(2本の測標)を用い、谷などの深さを測る場合には、累矩(2個の直角三角形)を用いる。測量対象が孤立したものは、三度望んで測り(3望)、はるかにはなれたものまたはそれ以外のものは、四度望んで測る。このように本書の例に示すように応用すれば、どんなにかすむほど遠方のものであっても、また、あやしく深い谷の測量であっても、この考えが使用できないことはない”。

(2.3)《重差》の練習問題の例—累矩法の例—
谷を望む測量法である“累矩法”の事例は次のように記されている。

[問題]

今、深い谷 (EG) を望み、^{さしがね} 矩 を谷嶺に^ふ 僣せ (BAC)、岸の上の「勾」(BA)の高さを6尺とする。ここで勾端(B)から谷底(G)を望んだときの下の「股」(AD)が9尺1寸であったとする。また、2番目の矩(B' A' C')上において、その矩間(AA')が3丈離れていたとする。勾端(B')から谷底(G)をのぞみ、上股(A' D')が8尺5寸であったとするとき、谷の深さ(AE)HAはどれほどになるか(図6)。

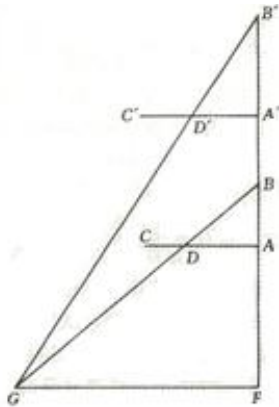


図6 累矩法

[計算法の解説]

術に曰く。矩の隔たり(AA')を置き、うえ「股」(A' D')をこれに乗ずることを「実」とする。うえ「股」(A' D')から下(AD)を相減じ、余りを「法」とし、「実」を割る。得た値から「勾」の高さ(A B)を引くと、それが谷の深さである。

そうすると、重差原理にもとづいて、次の谷の深さの公式が得られる

$$\begin{aligned} & \text{谷の深さ(AE)} \\ &= \frac{\text{矩間(AA')} \times \text{上股(A'D')}}{\text{下股(AD)} - \text{上股(A'D')}} - \text{勾高(AB)} \end{aligned}$$

この問題のように、二つの^{えんく} 僣矩 (直角三角形を伏せた形) を利用して、谷の深さを測ることができる。これを^{るいこく} 累矩法という。

(3) 代表的な著作《九章算術注》

(3. 1) 原典の《九章算術》とは？

劉徽の代表的な著作は《九章算術注》で、これは後漢初めに正式に本になった《九章算術》の注釈書である。原典の《九章算術》は中国に西周時代から伝わる数学の教科書で、

紀元前100年ころから体系化されてきた。この書の部分部分の完成は長期にわたる歴史的な経過をたどっており、書中には各種の数学の問題が収集されている。その多くは秦代以前(周代)から流伝してきた内容で、長期にわたって多くの人々の手を経て補足・修正されたもので、最終的には前漢時代の数学者が整理して《九章算術》として完成したものである。今日流伝する底本の内容は、後漢時代前にはすでに形成されていた。《九章算術》には全部で246個の応用問題とそれらの解法が集められている。その9章というのは、①方田、②粟米、③衰分、④少広、⑤商功、⑥均輸、⑦盈不足、⑧方程、⑨勾股の9分野である(表1)。

劉徽の考証結果によると、《九章算術》のもとには周公時代の“九数”にあり、《九章算術》は前漢時代の^{ちようそう}張蒼や^{こうじゆしやう}耿寿昌が、先秦時代にすでにあった《九章算術》の内容を、紀元前百年以降の文献を基礎に補修したもので、その中には大量の前漢時代に補充された内容が包含されている。《九章算術》が包含する各種の算法は漢朝の数学者達が、秦時代以前から伝えられてきた数学の基礎の上に築いたものが多く含まれており、当時の社会の需要に適応するように、補充・修訂されたものとなっている。

《史記・張丞相列伝》の記載によると、張蒼(約前250～前125)は、秦と漢両朝時代の経歴を持つ人で、高帝6年(前201)に北平侯に封ぜられている。彼は著書18巻を著し、陰陽律曆に詳しかった。耿寿昌(前74?～前49?)の生没年は不詳であるが、前漢の宣帝時代の大司農中丞であった。彼は張衡より先輩格の宇宙の揮天説を主張した天文学者として有名であり、甘露2年(前52)には“円儀度明行、考驗天運状”^{*}を帝に奏上している。

* “円い渾天儀で測って現象をしっかりとらえれば、天体の運行状態を確かめ考察することができます”といった意味。

張蒼と耿寿昌は数学の名家であり、高い身分にあった。彼らが先秦時代から伝わってきたと主張する《算術》は、極めて自然発生的のものであった。劉徽の記載によると、注釈した原典・《九章算術》の最終的な校訂は、耿寿昌の削除・補充によるという。このことから私たちは、耿寿昌が削除・補充した《九章算術》の形成年代から、この書の内容が完成されたのは、前漢時代と考えることができる。

(3. 2) 《九章算術注》の影響

《九章算術》の元は長い期間に組織的に編纂されてきたもので、ある面では官のための数学教科書であり、前後両漢時代の数学の発展にきわめて大きな影響を及ぼしている。《広韻》という本の4巻に“九章算術は、漢の許商・杜志、呉の陳熾・王燦がこれをよくした”

とあり《後漢書・馬援伝》には、馬統（約70-141）は“群籍を広く読み《九章算術》に負うところが多かった”とある。このほか史書の中には、鄭元（127-200）・劉洪（140?-206）等が《九章算術》の記述をしているという。この書籍は当時数学を学ぶための重要な教材であった。許商・杜志はいずれも前漢から後漢にわたる数学者である。《後漢書・芸文志》には、

《許商算術》26巻

《杜志算術》16巻

という文献はあるが、《九章算術》の書名はないから、紀元前10年ころにはまだ《九章算術》という本は成立していなかったことがわかる。つまり、《九章算術》がちゃんとした本になったのは、後漢の初めころということになる。許商・杜志は、《九章算術》が本になったのちの最も早くに、この書を研究した数学者なのである。

《九章算術》は中国数学史上、重要な位置を占めているだけでなく、世界の数学の発展

に対しても重要な貢献をしている。分数理論やその完整した算法、比例と比例配分の算法、面積と体積を求める算法、ならびに各種の応用問題の解決法などは、この本の中の、方田・粟米・衰分・商功・均輸等の章（表1）に詳しく記述されている。さらに、少広・盈不足・方程・勾股等の中国独自の解法は、盈不足法（双仮説方）や正負数の線形連立方程式の解法・整数勾股弦法（中国式のピタゴラスの定理を使った三角平方）の一般公式等の内容のすべてが、世界の数学史上、卓越した成果である。伝本の《九章算術》の注釈書としては既述した三国時代の劉徽と唐代の李淳風等の注釈がある。

参考文献

- 1) 中国測繪史編集委員会（2002）：中国測繪史測繪出版社（中国語）*
- 2) ジョセフ・ニーダム（東畑精一ほか日本語監修）（1980）中国の科学と文明 第11巻 思索社
- 3) 梁二平（2011）：中国古代海洋地図挙要 海洋出版社（中国語）
- 4) 中国のインターネット“百度”（中国語）
- 5) 蘇内清責任編集（1975）世界の名著 続1 中国の科学 中央公論社

*この本の第1巻・第2巻（太古～清代末まで）の翻訳書が以下の本（自費出版）です。
購入希望の方は、筆者（Eメール：ri-imamura@cbs-n.com）に連絡してください。

今村遼平訳 中国の地図測量史（自費出版）

平成 28 年度 水路技術奨励賞（第 31 回）

－業績紹介－

去る平成 29 年 3 月 8 日に同賞の表彰式があり、4 件 7 名の方々が授与されました（「水路」第 181 号で紹介）。本号では業績内容をご紹介します。ただし共同研究課題の場合、全容をご紹介できないこともあります。

1. 「南海トラフ巨大地震想定震源域におけるプレート境界の固着分布の推定」

受賞者：海上保安庁海洋情報部 海洋調査課海洋防災調査室 横田 裕輔
海上保安庁海洋情報部 技術・国際課海洋研究室 渡邊 俊一

2. 「衝撃波力を含む高波浪場のための数値設計手法の開発」

受賞者：(国研) 海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所 鶴田 修己

3. 「内航船向け最適航海計画支援システムの開発 商用化」

受賞者：(一財) 日本気象協会 事業本部防災ソリューション事業部 佐藤 淑子
同 前田 正裕
同 諸岡美菜代

4. 「水中騒音振動監視システムの開発」

受賞者：東亜建設工業株式会社 東京支店 宮崎 哲史

1. 南海トラフ巨大地震想定震源域におけるプレート境界の固着分布の推定

海上保安庁海洋情報部 海洋調査課海洋防災調査室 横田 裕輔
技術・国際課海洋研究室 渡邊 俊一

1. GPS-A 技術の概要

海上保安庁では、主に日本海溝沿いや南海トラフ沿いに海底基準点を設置し、GPS-音響測距結合方式 (GPS-A) による海底地殻変動観測を実施している。これまでに、M (マグニチュード) 9.0 の東北地方太平洋沖地震 (平成 23 年 3 月 11 日) に伴う海底での地殻変動を捉えることなどに成功してきた [Sato et al., 2011]。その GPS-A の模式図を図 1 に示す。海底には、基準点となる海底局として、特定の音響信号を送受信できるミラータイプの音響トランスポンダを設置しておく。その周辺を船底に音響トランスデューサを搭載した測量船で周回して観測することで測量船と海底局の相対位置を決定する。測量船の船底トランスデューサの絶対位置は GPS と船の動揺センサーを用いて決定することができるため、合わせて海底局の絶対位置を決定することができる。これを繰り返すことで、海底の移動速度を測定することができる。海上保安庁海洋情報部では、1990 年代からこの観測技術の開発を開始し [Asada and Yabuki, 2001; Fujita et al., 2006]、現在も技術開発が続けられている。

この技術の現在の観測精度は、GNSS の誤差に比べて、海中の擾乱に起因する誤差が強い。位置についての観測精度は 1 回 (4-10 時間程度の観測) 毎に 2-3cm 程度 (1σ) と見積もられる。また、船で現場海域まで出向かなければ観測できないため、現在でも年間 4-6 回程度の観測頻度しかない。これらのことから、移動速度についての観測精度は約 1 cm/年 となっており、陸域で得られているような詳細な地殻変動やその変化を捉えることは、まだできていない。

現在、海上保安庁は日本海溝から南海トラフに沿って約 20 点の観測点を有している。以下では、南海トラフ想定震源域の固着状態の分布がどのようにして求められたかについて、主に 2014 年以降の GPS-A 観測の成果を中心に説明する。

2. 東北地方太平洋沖地震の余効変動の把握

2011 年に発生した東北地方太平洋沖地震は極めて大きな地震時すべりを引き起こしたが、それに伴うプレート境界上の余効すべりも極めて大きいことが地震直後から推察された。余効すべりは通常、地震時すべりの領域の外側で発生するため、このケースでは東北地方沿岸の直下で大きなすべりが生じ、東日本全体が 10^2 年のオーダーで長期間にわたって大きく変動することが予測される。事実、国土地理院の GNSS 観測では東北地域は東側に大きく動き続けているし、その沿岸では隆起が発生していることがわかっている。Ozawa

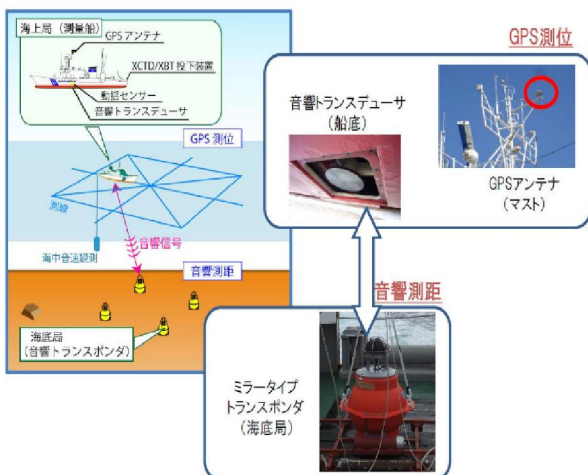


図 1 GPS-A 観測技術の模式図。GPS 測位と音響測距を組み合わせる。

et al. [2012] などではその余効すべりの領域が推定されている。

しかし実のところ、この地震の余効変動の支配的要因は余効すべりではなく地殻・マン
トル中の粘弾性的な応力緩和過程であることが海域での観測によって明らかにされた。
Watanabe et al. [2014] は、この緩和過程を明瞭に捉えることに海上保安庁の GPS-A 観
測が成功したことを報告している。東北地方の陸域では東側に大きく変動しているにも関
わらず、その沖合の海底は西側に大きく変動していたのである (図 2 左)。また、上下変動
を見てみても、陸側では隆起しているのに対して、海域では沈降が観測された (図 2 右)。
この事実は、いわゆる余効すべりでは説明がつかない。余効すべりは地震時のすべりによ
って周囲のすべっていない領域が強く引きずられることが原因であるから、地震時と同じ
方向 (このケースでは東向き・宮城県沖では隆起) にしか地殻変動は生じないのである。
そのため、これらの地殻変動は応力緩和過程を測地学的にはっきりと捉えた稀有な事例で
あると解釈される。

3. 粘弾性緩和過程のモデル化

以上のことがはっきりしたため、2011 年の地震直後に検討されていた余効すべりを中心
とした余効変動のモデルを再検討する必要性が生じた。このままのモデルは現実を全く説明
出来ていないため、今後の地震発生予測や沿岸域の隆起・沈降の予測に使えない。今回の
ケースでは粘弾性による応力緩和過程が支配的であり、余効すべりは補助的な過程である
ということを説明するようにモデルを組み直さなければならない。University of
Victoria (カナダ) と東北大学を中心とするグループは、GPS-A 観測結果などの観測値か
ら推定した本震時のすべり分布モデル [Iinuma et al., 2012] を用いて、地震後の
GPS-A 観測結果と整合するような応力緩和過程の時空間発展モデルを構築した [Sun et
al., 2014; Sun and Wang, 2015]。このモデルによれば、地震時に生じた強烈な応力変化
がプレート下のマントルまで伝わり、特に震源域の直下では西向き・下向きに鉍物が流動
する。その結果、表面の地表・海底では、そうした流動に付随した地殻変動が発生してい
ることになる。

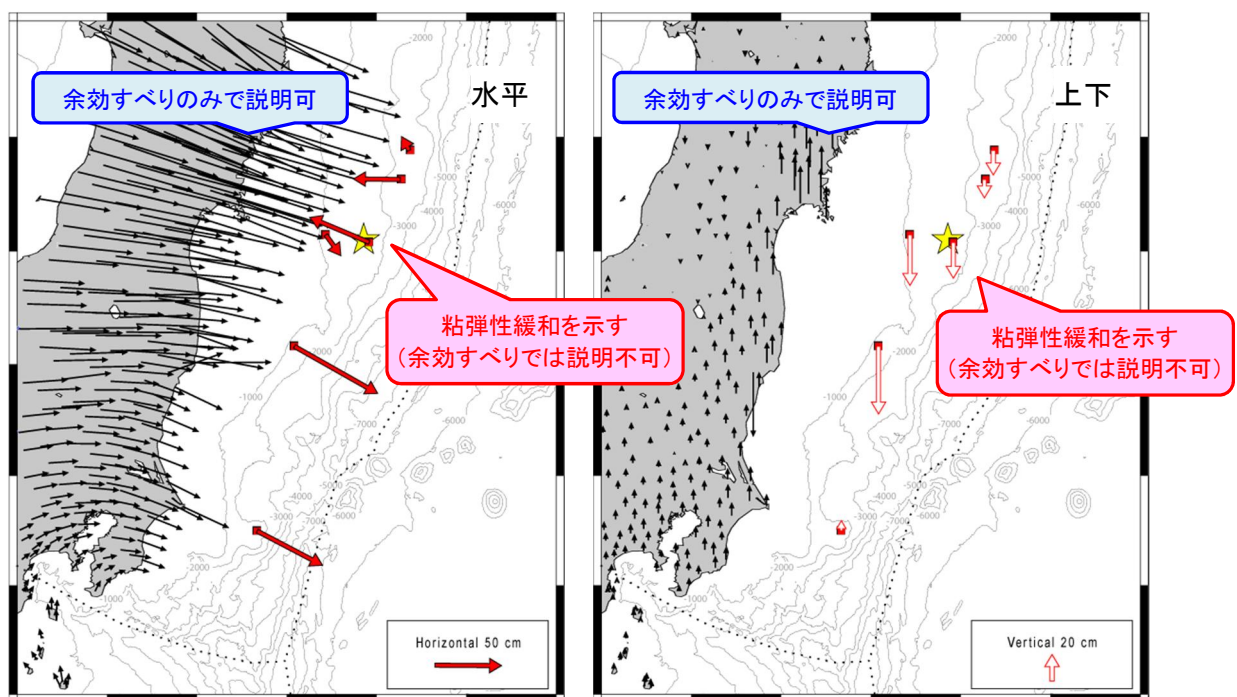


図 2 東北地方太平洋沖地震の余効変動を示す海底地殻変動観測の結果 (2014年 1月まで)。
陸域とは逆向きの移動が観測されている。(Watanabe et al. [2014] を修正)

4. 南海トラフ巨大地震想定震源域の固着分布

東北地方太平洋沖地震の余効変動の影響は、東北地方周辺だけではなく南海トラフ領域にまで延伸している。たとえば、静岡県の周辺では地震後3年間で5cm以上の地殻変動が起こっている。これは、年間5cm程度の地殻変動しか発生させない固着の影響を調べるためには、あまりにも大きな誤差要因である。この影響を適切に補正しなければならない。

Yokota et al. [2016] は、南海トラフ領域で観測した地殻変動結果から、前述の応力緩和過程の時空間発展モデルとその基になった本震時のすべり分布モデルを用いて、東北地方太平洋沖地震の影響を取り除いた地殻変動量を求めた。この値が、観測された地殻変動のうち、南海トラフ震源域の固着による寄与分として取り出したものである。この補正した地殻変動量を用いることで、南海トラフ巨大地震想定震源域での最近9年間の固着状態が求められた。図3がその推定された固着状態の分布である。

観測点密度・観測期間・観測精度において不完全な面はあるが、この結果は史上初めて海域固着状態を面的に捉えることに成功している。この結果から多くの新しい知見が得られた。ひとつめは南海トラフ想定震源域の全域が固着しているという事実である。陸域からしか見ていなかった時代には、全域が本当に固着して、将来の巨大地震に向けてエネルギーを貯めているかどうかさえわからなかった。ふたつめはその固着状態には場所によって強弱が存在していることである。東西方向にはもちろん、豊後水道の沖合では南北方向（トラフ軸との直交方向）にも強弱がある。強固着状態の領域ではフィリピン海プレートの沈み込みに関するモデル値から考慮して、きわめて高い固着率が示唆される。またこの発見によって、1940年代のM8クラスの地震は主に強固着状態の領域で発生していたことも明確になった。これらのことから、プレート境界での巨大地震と固着状態の強弱には関係性があることもはっきりした。もうひとつ興味深いのは、弱い固着状態の領域にはVLFE

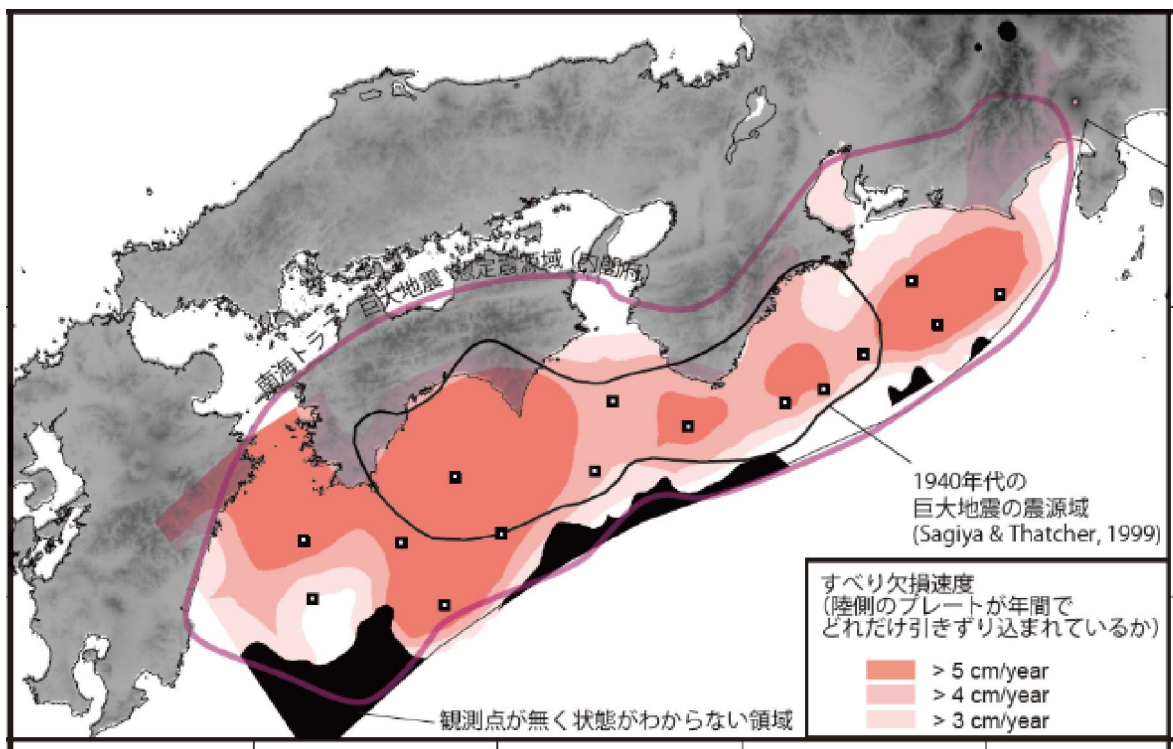


図3 GPS-A 観測から明らかになった南海トラフのプレート境界の固着状態。赤色が濃いほど強く固着していることを示す。(Yokota et al. [2016] に追記)

と呼ばれるゆっくりとすべる地震現象（ゆっくり地震と呼ばれる）が集中的に発生していることである。このことは固着状態の強弱はプレート境界の摩擦状態や間隙圧力条件などと物理的な関係性があることを示唆しており、プレート間の固着や摩擦といった物理素過程の解明の一助となりうるものである。また、この周辺には海山・海嶺の沈み込みが確認されていることから、そういった地質学的研究対象との関係性も今後議論されていくと期待される。

把握された固着状態は理学・工学・社会科学を含めた防災科学への応用も注目される。一例として、災害シミュレーションを挙げる。固着状態は最初のインプットに当たり、そこから地震・津波といった自然現象の理学的なシミュレーションを行う。次に、地盤・建造物の揺れといった工学的なシミュレーション、経済活動や人の移動といった社会科学的なシミュレーションへと順を追って進められる。このようなシミュレーションは、基礎となる地震・津波のシミュレーション精度が後続のシミュレーションまで誤差伝播するため、基礎情報の精度を高める固着状態の情報が重要視されるのである。

5. おわりに

ここまで示したように東北地方太平洋沖地震後のGPS-A観測を用いた調査・研究によって、地震後余効変動から南海トラフ想定震源域の固着状態まで明らかにされてきた。これはひとえにGPS-A観測の2000年代の萌芽期から2010年代の黎明期に至る技術開発と観測網の整備に支えられている。しかしながら、現在のGPS-Aを用いた海底測地観測網は他の地震・津波防災のための観測網と比べると未だ貧弱である。陸域では、言わずもがな地震観測網(K-NET, KiK-net, F-net, Hi-netなど)と測地観測網(GEONET)が整備されており、緊急地震速報などへの応用も進められている。

海域地震観測網もDONETやS-netの整備で大きく進展してきた。これらに比べると、海域測地観測網には未観測領域が多く、基盤的観測にはなりきれていない段階である。観測精度や観測頻度の不足も大きく、観測技術自体が他の測地観測の能力と比べれば未熟と言わざるを得ない。精度や頻度の向上は固着状態の時間変化などの詳細な地殻変動を捉えるためには不可欠であり、直近の技術課題である。それと同時に、大学などで進められている次世代の高効率な観測システムの開発をより推進していかなければならない。黎明期を終えたGPS-A観測システムは、さらに成熟した観測網・観測技術の確立を求められている。

引用文献

- 1) Asada and Yabuki : Centimeter-level positioning on the seafloor. Proc. Japan Acad., 77 (B), 7-12 (2001).
- 2) Fujita, M., T. Ishikawa, M. Mochizuki, M. Sato, S. Toyama, M. Katayama, Y. Matsumoto, T. Yabuki, A. Asada and O. L. Colombo: GPS/Acoustic seafloor geodetic observation: method of data analysis and its application. Earth Planets Space, 58, 265-275 (2006).
- 3) Iinuma, T., R. Hino, M. Kido, D. Inazu, Y. Osada, Y. Ito, M. Ohzono, H. Tsushima, S. Suzuki, H. Fujimoto and S. Miura: Coseismic slip distribution of the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake (M9.0) refined by means of seafloor geodetic data. J. Geophys. Res. 117, B07409 (2012).
- 4) Ozawa, S., T. Nishimura, H. Munekane, H. Suito, T. Kobayashi, M. Tobita and T. Imakiire: Preceding, coseismic, and postseismic slips of the 2011 Tohoku

- earthquake, Japan. *J. Geophys. Res.* 117, B07404 (2012).
- 5) Sato, M., T. Ishikawa, N. Ujihara, S. Yoshida, M. Fujita, M. Mochizuki and A. Asada: Displacement above the hypocenter of the 2011 Tohoku-oki earthquake. *Science* 332, 1395 (2011).
- 6) Sun, T., K. Wang, T. Iinuma, R. Hino, J. He, H. Fujimoto, M. Kido, Y. Osada, S. Miura, Y. Ohta and Y. Hu: Prevalence of viscoelastic relaxation after the 2011 Tohoku-oki earthquake. *Nature* 514, 84-87 (2014).
- 7) Sun, T. & Wang, K. Viscoelastic relaxation following subduction earthquakes and its effects on afterslip determination. *J. Geophys. Res.* 120, 1329-1344 (2015).
- 8) Watanabe, S., M. Sato, M. Fujita, T. Ishikawa, Y. Yokota, N. Ujihara and A. Asada: Evidence of viscoelastic deformation following the 2011 Tohoku-oki earthquake revealed from seafloor geodetic observation. *Geophys. Res. Lett.* 41, 5789-5796 (2014).
- 9) Yokota, Y., T. Ishikawa, S. Watanabe, T. Tashiro and A. Asada: Seafloor geodetic constraints on interplate coupling of the Nankai Trough megathrust zone, *Nature*, 534, 374-377 (2016).

2. 衝撃波力を含む高波浪場のための数値設計手法の開発

(国研) 海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所 鶴田 修己

1. はじめに

高波浪時に生じる砕波や越波水塊による壁面への衝撃的作用いわゆる衝撃波力は、非砕波時と比較して数倍から数十倍の極めて強大かつ危険な圧力を構造物に与えるため、防波堤等の突発的な破壊要因として十分に考慮する必要がある(図1参照)。この衝撃波力の予測には経験的な実験式(高橋ら, 1992)が提案されているが、砕波状況は構造物形状や波の入射条件により複雑に変化するため算定式の精度にばらつきが生じ、そのため、高波浪を伴う極大波力の評価には個別の大型水理模型実験を実施するなどの多大なコストを伴う対応を別途必要としていた。この打開策として、数値シミュレーションを活用した数値設計(=数値波動水槽)の導入が近年では特に期待されているが、衝撃波力の再現時には非物理的な圧力のスパイクノイズすなわち極端な数値エラーが各モデルで共通して発生するため、海岸工学分野における数値波動水槽の開発から約20年を経た現在においてもなお、高波浪を伴う防波堤や防潮堤への真に有効かつ経済的な設計手法の確立は達成されていない。この問題への打開には、物理モデルを忠実に再現するためのシミュレーションモデルの革新的な改良が必須である。

2. 粒子法型高精度数値波動水槽

粒子法は、移動計算点自体が流体挙動を模擬して動く、いわゆる完全 Lagrange 型流体解析手法であり、砕波を伴う水表面の大変形問題に対しても安定的に計算が可能な特性を有する。特に、半陰解法型アルゴリズムが



図1 衝撃波力の発生の瞬間

組まれた粒子法型非圧縮性流体解析手法の一つであるMPS法(Moving Particle Semi-implicit method; Koshizuka and Oka, 1996)は、その体積保存性の高さから、海岸工学分野への適用事例が増えている。

MPS法では、計算領域に配置された計算粒子を対象に粒子間の相互作用力をモデル化して、連続式及び運動方程式から成る以下の基礎方程式

$$\frac{d\rho}{dt} + \rho \nabla \cdot \mathbf{u} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{D\mathbf{u}}{Dt} = -\frac{\nabla p}{\rho} + \mathbf{g} + \nu \nabla^2 \mathbf{u} \quad (2)$$

の各項が解かれる。ここに、 ρ : 密度、 t : 時間、 \mathbf{u} : 速度ベクトル、 p : 圧力、 \mathbf{g} : 重力加速度ベクトル、 ν : 粘性係数である。モデル化に際しては、周囲近傍の粒子を対象にカーネル関数 w を用いた局所平均操作が施される(図2参照)。また、カーネル関数 w によって定義される以下の粒子数密度 n

$$n_i = \sum_{j=1}^N w(|\mathbf{r}_j - \mathbf{r}_i|) \quad (3)$$

を一定に保つことで、連続式における非圧縮条件が満足される。ここに、 r : 座標ベクトルであり、下付き添え字 i, j はそれぞれ対象粒子 i とその近傍粒子 j を示す。MPS法は、計算粒子を Lagrange 的に追跡するため、数値拡散の原因になる移流項が省略される利点がある反面、従来法では圧力の擾乱が著しく、数値ノイズの改善が重要課題の一つとして挙げられていた。しかし、近年開発の進む高精度スキームの導入によって、上記の圧力擾乱は劇的に改善され、計算精度及び安定性が担保されたことで、圧力分布を含む現象予測ツールとしての数値波動水槽構築の下地が整いつつある。しかし、衝撃波力のような瞬間的に圧力が急変する現象に対しては、従来の高精度手法（本研究では、MPS-HS-HL-GC-DS (=MPS(T)) 法を採用; Gotoh et al., 2014; Khayyer and Gotoh, 2011; Tsuruta et al., 2013) においても数ステップ単位で圧力のスパイクノイズが発生するため、厳密な予測ツールの開発のためには更なるモデルの改良が必要である。

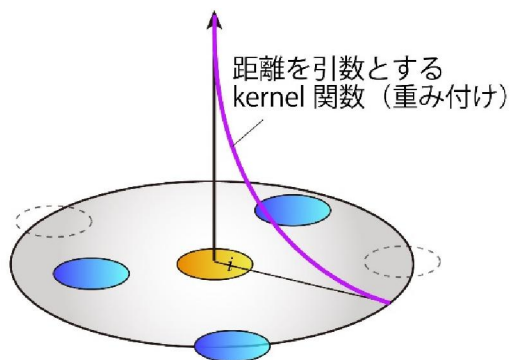


図2 粒子法における局所平均操作(kernel 関数)

3. 水表面境界モデルの改良

衝撃波力は水表面と構造物の衝突により生じる瞬間的な現象であるが、MPS法の水表面境界条件に着目すると、従来法においては、水表面粒子は境界条件として取り扱われるため、圧力の陰的更新計算の対象とはならず、水表面近傍での体積保存性が不完全となる問題が含まれる。また、完全 Lagrange 型手法である MPS法は、計算点（粒子）の接続を基に物理量およびその座標＝空間を取り扱うため、計算粒子が配置されない自由空間に対しては、その空間に対する直接的な情報が計算アルゴリズム上、数学的に記述されない（図3参照）。これによって、自由空間に接する水表面近傍では、粒子の運動自由度が実質的に制限され、衝撃波力のような水表面を対象とする圧力が急変する領域では、圧力分布が適切に算出されない問題が生じる。本研究では、こうした従来の水表面境界モデルの問題に着目し、流体粒子とは別途に自由水表面境界条件が付与される仮想境界粒子を新たに導入して、体積保存性を確保しつつ、数値安定性と精度に優れた水表面境界モデル (Space Potential Particles = SPP; Tsuruta et al., 2015) を構築した (図4参照)。本スキームの特徴的な点は、計算点の存在しない空隙に対して空間的特性の意味付けを数学的に付与することであり、これにより、自由水表面挙動において運動の自由度を保証し、例えば衝撃砕波の数値シミュレーションにおいて流体間隙に多数発生する微小空隙（圧

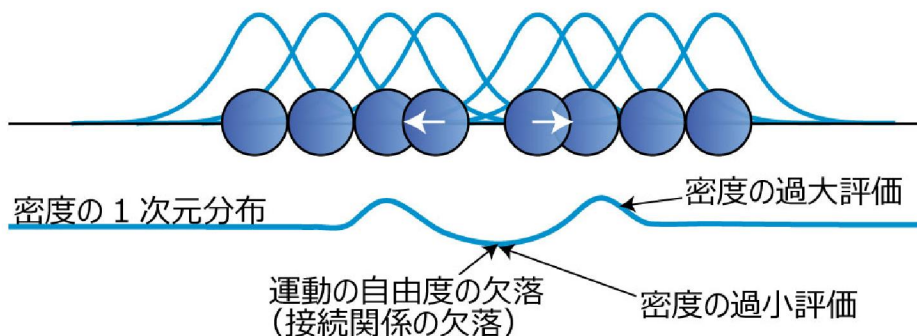


図3 従来法における水表面境界での運動自由度の欠落

カノイズの主要因の一つ)も含め、自由空間と流体の異相境界面を適切に処理することができ、圧力解の精度向上に有効的に作用する。

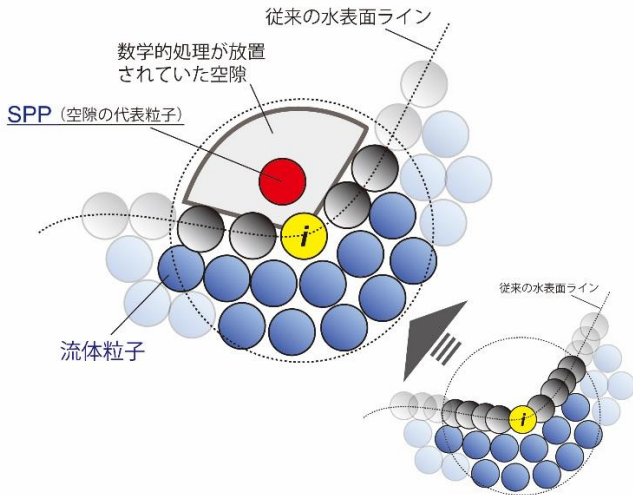


図4 自由表面境界条件モデル
(Space Potential Particles: SPP)

4. 高精度自由表面境界モデルを用いたベンチマークテスト

(1) カルマン渦の再現

数値エラーによって粒子間に生じる微小間隙は、本来、空隙空間への引張力によって粒子の埋め直しが必要であるが、先述の通り、

従来型の粒子法では自由空間への情報が欠落するため、こうした空隙への補正が働かず、空隙が拡大される場合がある。上記典型例として、円柱背後の流れの計算結果のスナップショットを図5に示す。円柱背後では負圧域が形成されて流線が剥離するが、従来法では、この流線剥離に従う粒子が負圧域へ進入できず、最終的に円柱背後に大きな空白域が発生してしまう。一方、高精度自由表面境界モデルであるSPPスキームを導入すれば、小さな空白域が発生した段階で周囲粒子が適切に補填されるため、円柱背後に非物理的な空白を生じさせることなく、Karman 渦列の再現が可能である。

(2) スロッシング現象の再現

SPPスキームを導入した高精度数値波動水槽による実際の圧力擾乱低減効果を検討すべく、水槽内のスロッシング現象を対象としたKishev et al. (2006)による水理模型実験の再現シミュレーションを実施する。壁面境界条件として、壁面を構成する壁粒子に対しては、以下式

$$A = A_{max} \sin(\omega t) \quad (4)$$

の水平の振動振幅Aを付与する。ここに、

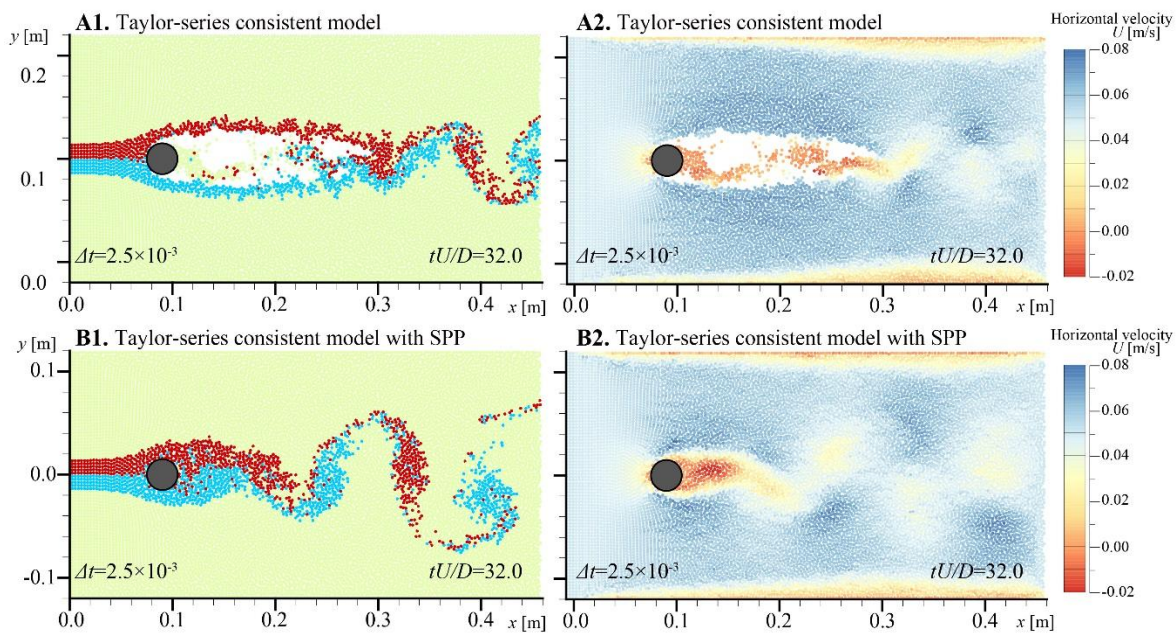


図5 円柱背後の流れを対象とした数値シミュレーション結果

A_{max} : 最大振動振幅 ($A_{max} = 50\text{mm}$)、 ω : 振動角である。振動周期は $T = 1.50\text{s}$ で、計算粒子径 d は $d = 3.0\text{mm}$ に設定した (図 6 a 参照)。なお、本計算では計算精度を更に向上させるため、局所平均操作に対して、従来の MPS kernel から高次 kernel の一つである Wendland kernel に対応するよう SPP に改良を施した。

図 6 b~d に、数値シミュレーション結果における代表時刻での圧力分布を示す。MPS kernel を用いた SPP 未導入の図 6 b では、計算の全領域において不連続的に生じる非物理的な圧力のゼロ値が散見される。こうした不連続な圧力のゼロ値エラーは、Wendland kernel を導入することである程度の抑制が可能であるが (図 6 c)、一方で、水表面の近傍においては圧力の擾乱がより顕著となる傾向がみられた。図 6 d の Wendland kernel 対応型 SPP を導入したケースでは、上記の非物理的な圧力ゼロ値エラーおよび水表面近傍の圧力擾乱がともに改善されていることが確認できる。

図 7 に、数値シミュレーション結果におけ

る $3.0 < t < 12.0\text{s}$ での圧力計側点での圧力時系列を示す。なお、図中には、全計算ステップを対象に抽出した圧力時系列を示してある。MPS kernel を用いた場合、恒常的に圧力の擾乱が発生するのにに対し、Wendland kernel を導入した場合には、この圧力擾乱が大きく改善されている。しかしながら、圧力の突発的なエラー (スパイクノイズ) については、依然として散発することが拡大図から確認できる。これに対し、Wendland kernel 対応型 SPP を導入した場合には、圧力の擾乱と共に極端なインパルスノイズも同時に抑制されることが分かる。本グラフは、全計算ステップを対象に圧力を抽出しており、いずれの計算ステップにおいても、こうしたインパルスノイズが生じないことは、劇的な改善と言える。しかし一方で、衝撃圧については過小評価となる傾向が見られる。圧力ノイズ除去後の次のステップとして、壁面近傍の水面変形をより忠実に再現するための表面張力モデルなどの追加的な物理モデルへの対応が今後は必要であると考えられる。

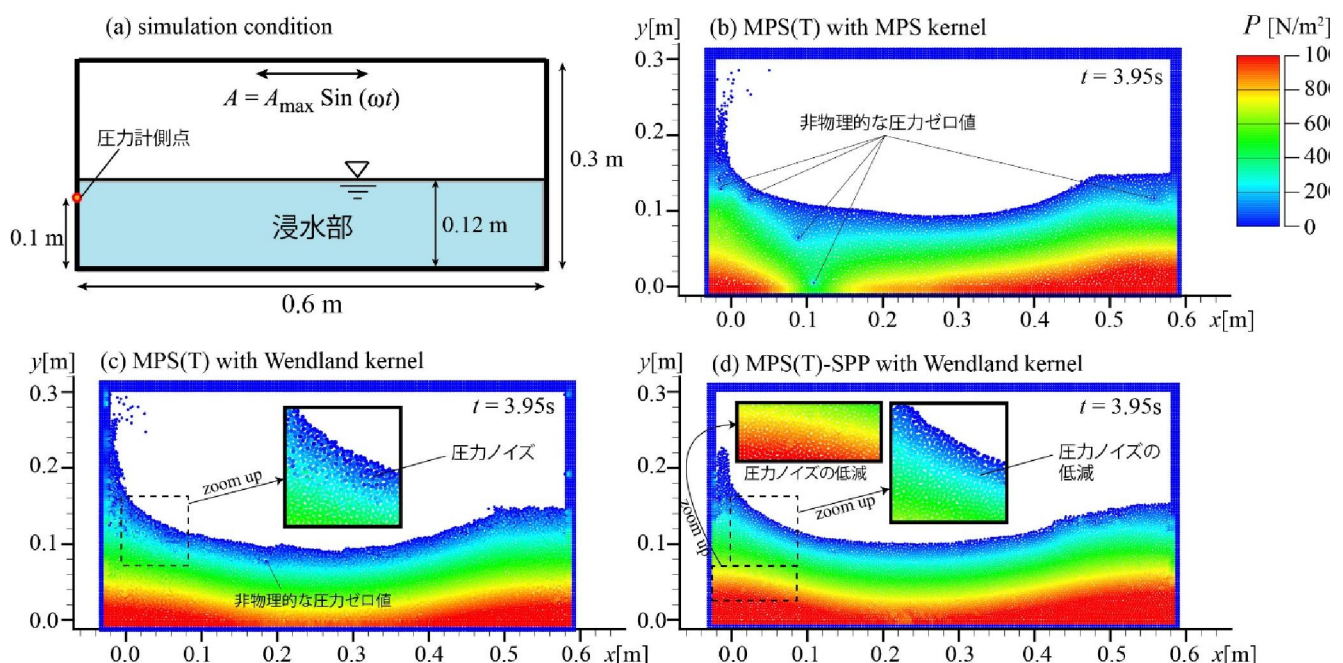


図 6 スロッシングを対象とするシミュレーション結果のスナップショット

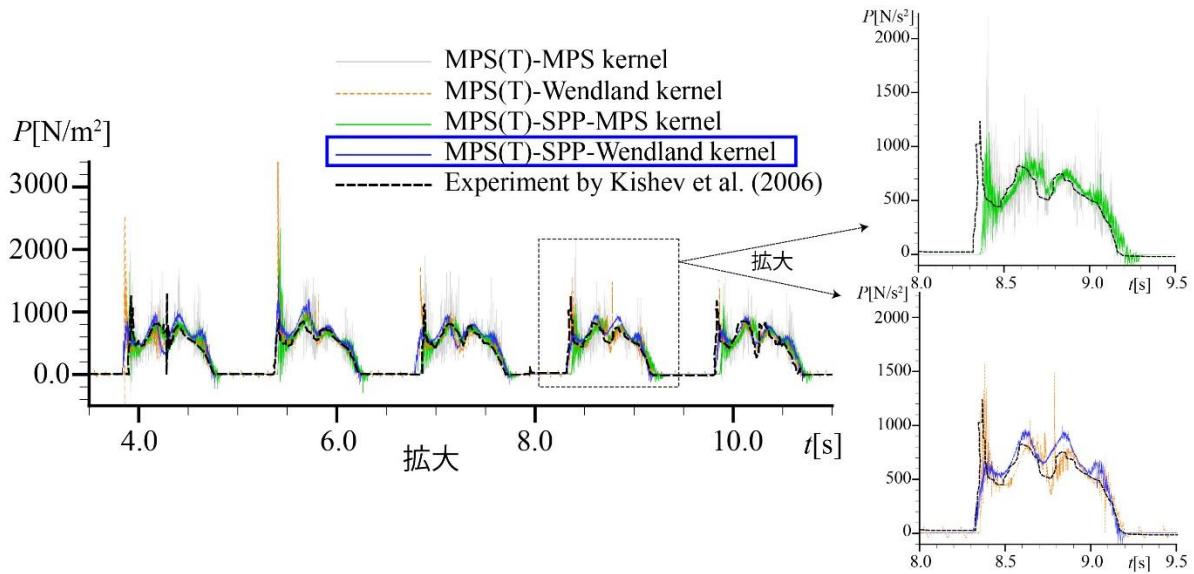


図7 スロッシングを対象とするシミュレーション結果の圧力の時系列

5. おわりに

数値波動水槽の一つである粒子法を基礎に高精度な境界条件モデル (Space Potential Particles: SPP) を開発して、非物理的な圧力のスパイクノイズの効果的な除去に成功した。高波浪による衝撃波力を含む複雑な波・流れを対象とした防波堤等の数値設計手法として有効的な枠組みを構築した。なお、SPPは自由表面に対する境界条件モデルであるが、物理量のポテンシャルを表現するという意味では他の境界条件に対しても容易に応用が可能である。例えば、壁面境界や移動境界 (造波境界)、開放境界など複数の境界条件への応用例が検討されており (鶴田ら; 2014, 2015)、現在は汎用的な高精度境界条件モデルとして、数値波動水槽の各機能の整備が進められている。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、多くの方々に御指導・御助言及び御鞭撻を頂きました。深く感謝致します。京都大学・後藤仁志教授を始め、同大学・原田英治准教授、Abba Khayyer 准教授、五十里洋行助教より、粒子法を含む

数値流体力学に関して終始御指導ご鞭撻を頂きました。また、(国立研究開発法人) 海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所・高橋重雄顧問 (一般財団法人 沿岸技術研究センター・理事長併任) を始め、同研究所・栗山善昭所長、下迫健一郎特別研究主幹、鈴木高二朗グループ長からは、衝撃波力を含む港湾設計に関する様々な御指導を頂きました。

御指導、御協力下さった方々に対し、改めて感謝致します。

参考文献

- 1) 高橋重雄, 谷本勝利, 下迫健一郎, 細山田得三: 混成防波堤のマウンド形状による衝撃波力係数の提案, 海岸工学論文集, 第 39 巻 (2), pp. 676-680, 1992.
- 2) Koshizuka, S. and Oka, Y. (1996) Moving particle semi-implicit method for fragmentation of incompressible fluid, Nuclear Science and Engineering 123, 421-434.

- 3) Gotoh, H., Khayyer, A., Ikari, H., Arikawa, T. and Shimosako, K.: On enhancement of Incompressible SPH method for simulation of violent sloshing flows, *Applied Ocean Res.*, Vol.46, pp.104-115, 2014.
- 4) Khayyer, A. and Gotoh, H.: Enhancement of stability and accuracy of the moving particle semi-implicit method, *Journal of Computational Physics*, Vol.230, pp.3093-3118, 2011.
- 5) Tsuruta, N., Khayyer, A. and Gotoh, H.: A Short Note on Dynamic Stabilization of Moving Particle Semi-implicit Method, *Computers & Fluids*, Vol. 82, pp.158-164, 2013.
- 6) Tsuruta, N., Khayyer, A. and Gotoh, H.: Space potential particles to enhance the stability of projection-based particle methods, *International Journal of Computational Fluid Dynamics*, Volume 29, Issue 1, pp. 100-119, 2015.
- 7) Kishev, ZR., Hu, C., Kashiwagi, M.: Numerical simulation of violent sloshing by a CIP-based method, *J Marine Sci Tech.*, Vol. 11 (2): pp.111-122, 2006.
- 8) Wendland, H.: Piecewise polynomial, positive definite and compactly supported radial functions of minimal degree, *Adv Comput Math.*, Vol. 4, pp.389-396, 1995.
- 9) 鶴田修己・後藤仁志・鈴木高二朗・Abbas KHAYYER・下迫健一郎・五十里洋行:高精度自由表面境界モデルを用いた粒子法のスロッシング現象への適用, *土木学会論文集 B2(海岸工学)*, Vol.B2-72, No.2, pp. I_49-I_54, 2016.
- 10) 鶴田修己・KHAYYER Abbas・後藤仁志:粒子法型の数値波動水槽のための高精度造波モデルの提案, *土木学会論文集 B2(海岸工学)*, Vol.B2-70, No.2, pp. 31-35, 2014.
- 11) 鶴田修己・後藤仁志・鈴木高二朗・下迫健一郎・Abbas KHAYYER・五十里洋行:高精度粒子法を用いた数値波動水槽のための開放境界条件モデルの構築, *土木学会論文集 B2(海岸工学)*, Vol.B2-71, No.2, pp. I_13-I_18, 2015.

3. 内航船向け最適航海計画支援システムの開発 商用化

(一財) 日本気象協会 事業本部防災ソリューション事業部 佐藤 淑子
// 前田 正裕
// 諸岡美菜代

1. はじめに

これまでの内航海運では、常用航路を航行して早めに到着し、沖待ちをする航海がしばしば用いられ、省エネルギー航海は行われてこなかった。しかし、輸送の選択肢として内航海運の認知度を高めるためにも、内航海運の信頼性向上と経済運航(環境調和型の運航)の実現が必要である。この課題の解決策として、省エネ効果の期待できる最適航海計画支援システムを開発し、さらに広く普及を図る目的で導入の容易な簡易版システムの構築を行った。本システムは、現在日本気象協会がサービス化(商品名 ECoRO)している。この成果は、内航船からの CO2 排出量削減および燃費削減を実現し、それにより、環境負荷低減および海運会社の利益増に貢献している。

2. システム概要

内航船を対象として、燃料消費量が最も小さい航路計画と、予測の不確実性を考慮して定時運航を実現した船速計画(減速航行)を

提示する最適航海計画支援システムを、日本気象協会、東京海洋大学、海上技術安全研究所が共同で開発した。

システムの概要を図1に示す。①ユーザーが船上の専用端末から、本船の常用航路、出発位置と日時、到着位置と日時、積載状態等を設定し、最適航海計画の作成をリクエストすると、船陸間通信を介して日本気象協会のサーバーに要求が送信される。②サーバー側で要求を受付けると、高解像度、高精度の日本周辺の気象海象予測情報、実海域船舶性能データに基づき、FOC (Fuel-Oil-Consumption: 燃料消費量) が最小となる最適航路および到着予想時刻を計算する。要求に対する最適航海計画の結果は、船陸間通信を介して船上端末に送信される。③算出された航海計画は、船上端末の画面上で利用でき、常用航路と最適航路、更に最新の気象海象予測情報を重畳表示できる。これにより、船長の航海計画立案を支援する。通信プロトコルはメールであり、計画要求、計算結果を添付ファイルとし

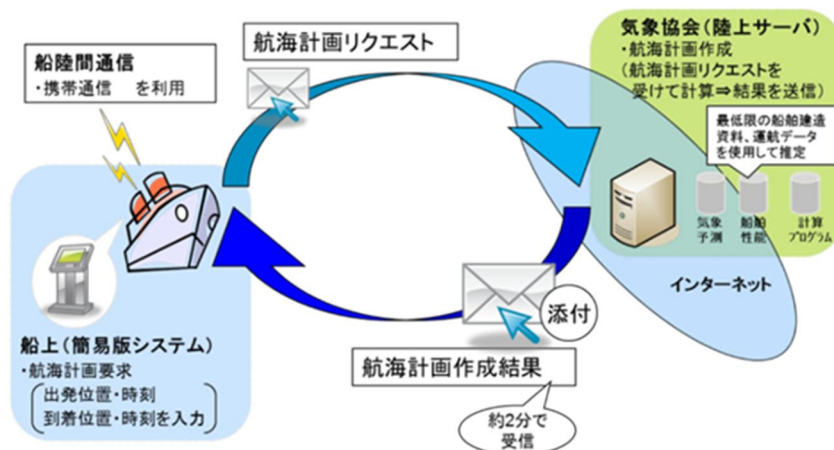


図1 システム概要

て送受信する。また、船舶からは、10分毎に運航に関するモニタリングデータの送信を行っている。

本システムには、①高精度・高解像度の海上風、波浪、海流予測、②個船毎の実海域推進性能推定、③数理計画法を用いた航海計画の3つの新技術を用いている。

- ① 高精度・高解像度の海上風、波浪、海流予測
内航船は、気象を利用したわずかな航路の差の積み重ねにより省エネ効果を生み出す必要がある。したがって、高精度、高解像度の情報が求められる。日本には多くの観測値が存在するので予測誤差を低減

見て4日先までの予測情報としている。しかし、予測誤差は、予測時間が長くなるにつれて大きくなるため海上風、波浪は3時間毎、海流は1日毎に予測を更新し、オンデマンドで最新の情報を用いたリルーティングができるようにしている。航路決定に必要なWayPointの分解能から予測解像度を2NMとした。瀬戸内海の流れには日本水路協会の潮流メッシュデータを用いており、不定期船の出航時刻調整、定期船の船速配分計画に利用できる。気象海象予測については検証の結果、精度が高いことを確認している(図3)。

表1 気象海象予測モデルの概要

情報	モデル作成者	概要	空間解像度	予測更新頻度
沿岸海上風	気象庁	初期時刻より33時間先まではメソスケールモデル(MSM)による解像度5kmの予測値、33時間先以降は全球モデル(GSM日本域)による解像度20kmの予測値を使用。	2NM (3.7km)	1日8回 (約3時間)
沿岸波浪	JWAve JWA	気象庁数値予報GPVの海上風データを入力として、改良WAMにより解像度2分で予測。沿岸波浪観測値を同化して、高精度化を図っている。	2NM (3.7km)	1日8回 (約3時間)
沿岸流況	JCOPE JAMSTEC	海流、潮流・吹送流を解像度1/36度で予測。衛星、パイ観測値を同化して、高精度化を図っている。	2NM (3.7km)	1日1回 (情報提供は3時間毎)
海霧	ひまわり霧情報 JWA	MTSATの複数チャンネルの観測値(の差)から霧(低層雲)を判別。実況のみ。	2NM (3.7km)	30分毎

※海上風、波浪、海潮流とも、データ同化により予測誤差を低減。予測精度を向上。

するために、データ同化により精度を向上している(図2)。海上風は3時間毎に気象庁MSM及び全球モデル(GSM日本域)の予測値を結合して利用している。波浪は3時間毎にMSM、GSMを入力として、第3世代波浪モデルWAM(沿岸波浪観測値に一致するようにモデルを独自に修正した改良版)により方向スペクトルの予測計算を実施している。流れはJCOPE-T(JAMSTECによる海流、潮流、吹送流を予測したもの)を利用している。内航船の航海時間は長くて3日程度であるので、出港時には余裕を

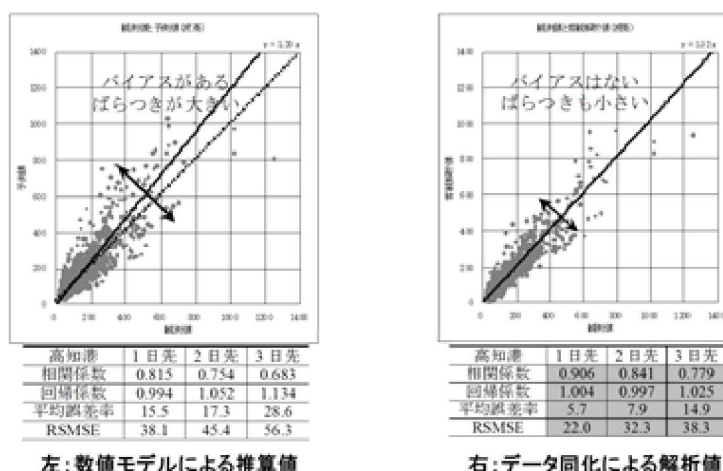


図2 データ同化による精度向上事例

潮汐表データとの比較結果

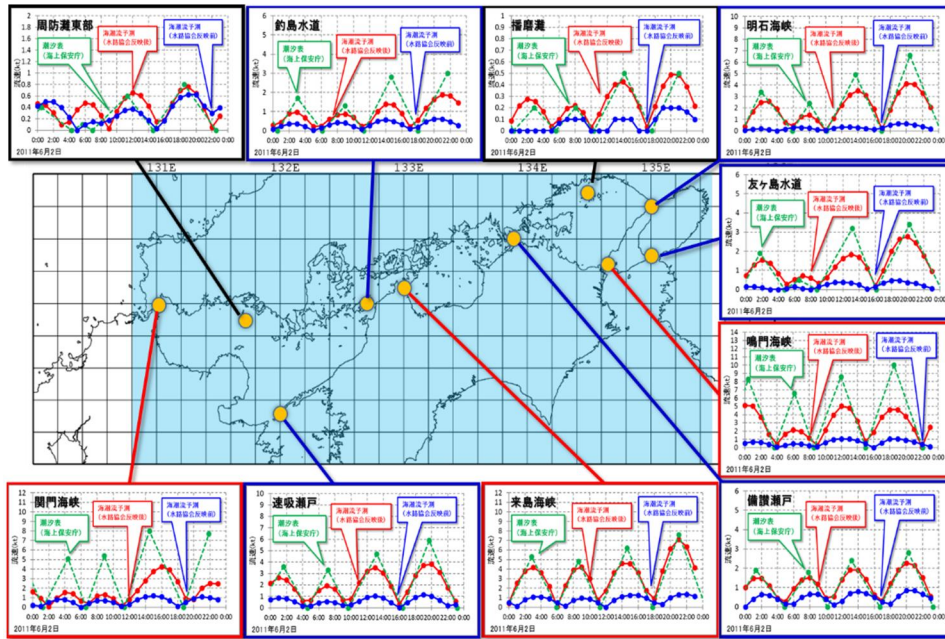


図3 潮汐表データとの比較結果

② 個船毎の実海域推進性能推定

個船毎の推進性能を評価し、実測データによるチューニングを行っている。風による減速は、藤原の方法により推定しており、一般配置図を基に、相対風向に対する投影面積にかかる風加重を考慮するとともに、回頭によるあて舵減速を考慮している。波浪による減速は、水面下形状から評価している。また、速力試験結果と、GPS位置、針路、対水船速、馬力、燃料消費量等のモニタリングデータから対水船速と馬力(燃料消費量)の関係を求め、風・波による減速量を補正することで、推進性能データのチューニングを行っている。

により決定している。また、予測誤差共分散を用いて、予測の不確実性を考慮して定時運航を実現した省エネ船速(減速航行)計画を提示している。

航海シミュレーションによる航路に沿った燃料消費量を計測値により検証した結果、航海毎に誤差は生じるが、20航海程度以上の記録を用いるとシミュレーション値は計測値とほぼ等しく統計的にシミュレーションが妥当であることを証明している(図4)。したがって、航海数を重ねることで省エネ効果が得られるといえる。

③ 数理計画法を用いた航海計画

航路計画は、①、②のデータを入力値として、DP法(Dynamic Programming)による数理計画法を用いて、航海計画の要求に応じて動的にWay Point(変針点)を発生させ、これらをつなぐ複数の異なる航路候補の中から最も燃料消費量の少ない線分を選定すること

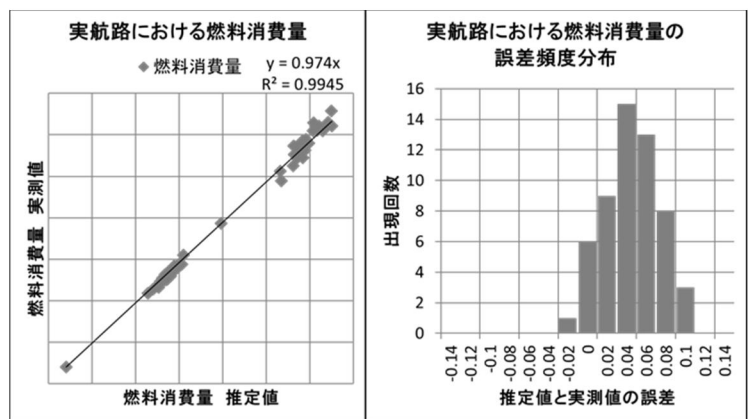


図4 実航路におけるF0C推定誤差

3. 燃費削減効果

本システムは、対象となる船社（RORO 船、フェリー、自動車運搬船、セメント船、油タンカー等）またはその荷主が燃費削減、航海の評価のために利用している。これまでの運用結果から、海域により異なるが、2～5%程度の省エネ効果を実現している。ただし、沖縄航路は途中の四国沖に米軍の爆撃訓練海域があるため、航路の選択の余地が少ないことから効果は1.5%程度である。また、日本海側は太平洋側と比較して顕著な海流がないため効果は1～2%程度である（図5）。

4. 普及のための工夫

当初開発したシステムは、設計図面の一部や詳細な運航データ取得のための工事が必要であり、導入までの期間と費用が課題となっ

ていた。そこで、広く普及を図るために初期設定に用いる情報を最小限に抑えた“簡易システム”を構築した。この簡易システムでは、導入期間、費用を大幅削減するとともに、若干効果は落ちるが燃費削減効果が得られることを実証した。

運用事例として、システム開発時の内航RORO船の事例を示す（図6）。当初システムにより算出される推奨航路と、簡易システムを利用した場合の推奨航路との間に大きな差はみられず、気象海象の利用による省エネ航路となっていることが確認できた。また、簡易システムによる推奨航路のFOC削減効果（推算値）は、本船の燃料使用実績から算出したFOC削減効果とほぼ同程度の結果であった。

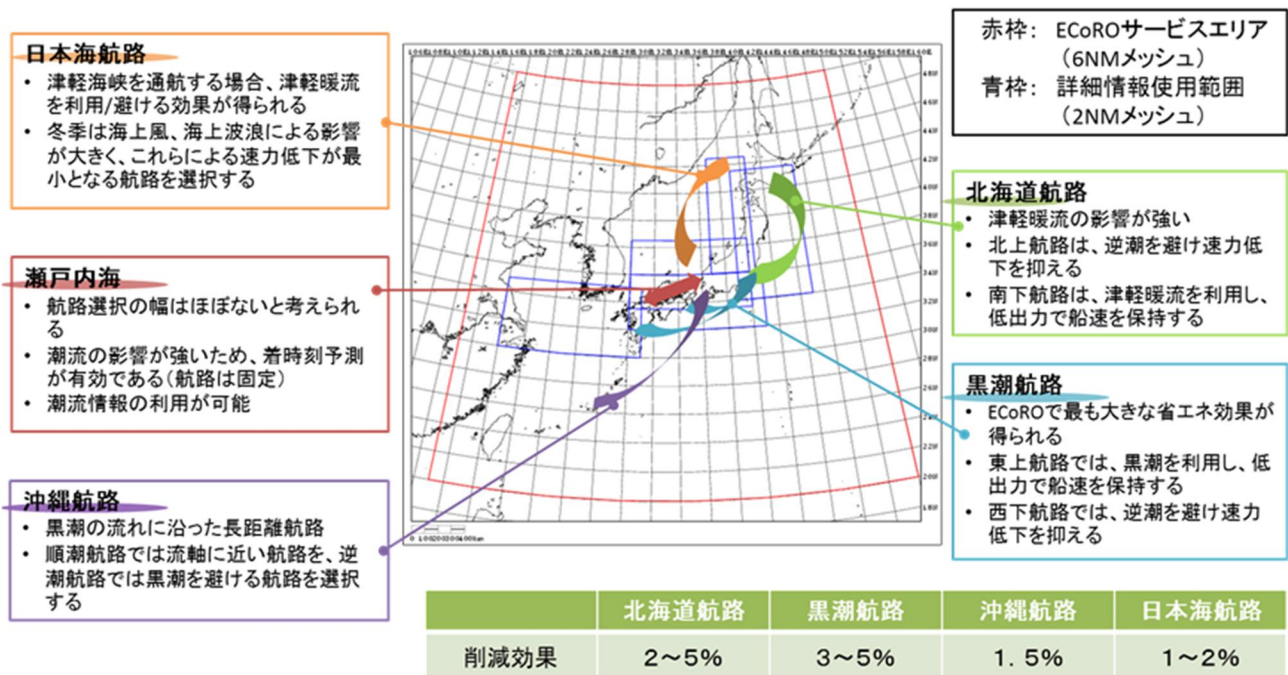


図5 各航路における燃費削減効果

利用事例【黒潮航路(逆潮)】

出発港	到着港	出発日時	要求到着日時	FOC削減効果		
				【ECoRO】	【ECoRO-Light1】	【実績(C重油)】
関東	九州	01/24 18:52	01/25 20:38	16.1%	6.0%	5.8%

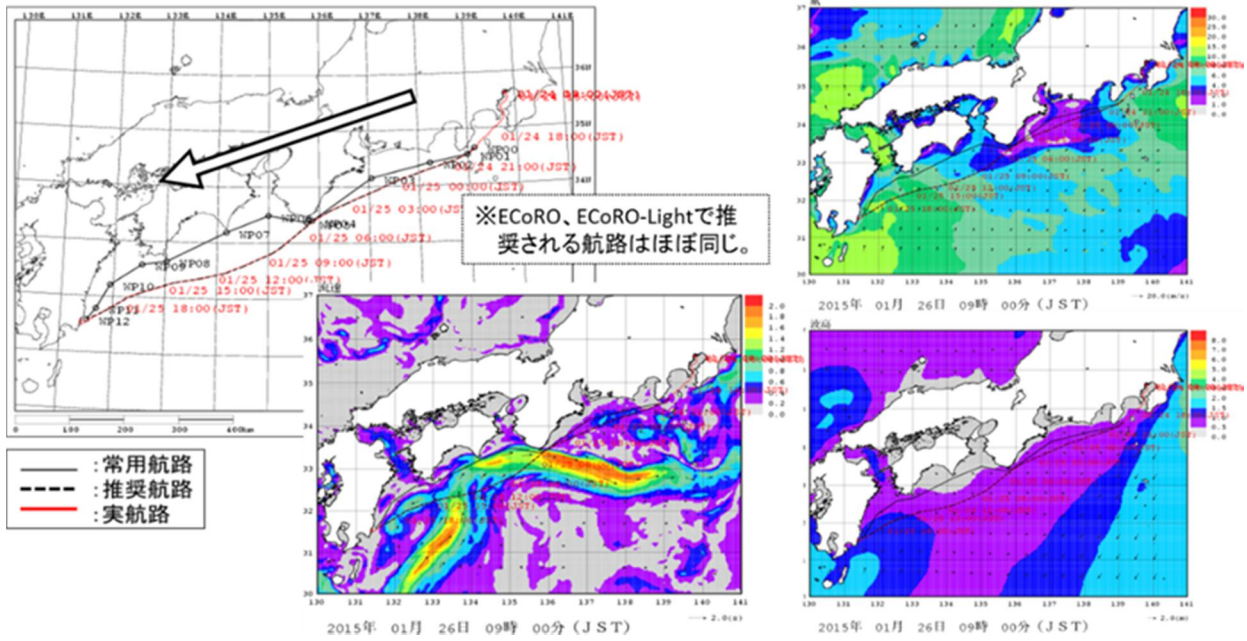


図6 簡易システムの利用事例

4. 水中騒音振動監視システムの開発

東亜建設工業株式会社 東京支店 宮崎 哲史

1. はじめに

建設工事を施工する際は、周辺環境への影響を事前に予測し、その影響を回避または最小化するよう十分検討する必要がある。我が国の沿岸域は多くの漁場や水産施設が存在しており、このような海域における工事では、従来から実施されている水質汚濁の監視に加え、水中騒音や海底振動等の影響も把握することが望ましい。しかし、一般にこれらの監視には専属の調査員や調査船を要することから、作業負担や監視コストの削減が大きな課題であった。そこで、施工中の水中騒音や振動を自動計測し、計測値が管理基準値に近づくと工事関係者に直ちに警告を発することができる「水中騒音振動監視システム」を開発した。これにより、これまで定量的な評価が難しかった施工による水中騒音・振動の影響を把握することが可能となった。

2. 水中騒音振動監視システムの概要

本システムの概要を図1に示す。本システムの構成と計測、解析、評価は、次のようなフローとなる。

- ①水底に設置した水中騒音振動計と水中マイクロホンにより、水中騒音と海底振動を自動計測する。
- ②洋上ブイ等に設置した通信制御装置により、測定データをサーバーへ自動送信する。
- ③サーバー内の解析装置により、測定データを自動解析し、WEBにアップロードする。
- ④PCやモバイル端末により、工事担当者は解析データをリアルタイムに取得する。
- ⑤既往の知見や実験に基づき施工中の管理基準値を設定し、計測値を監視する。管理基準値を超過した場合は、警報メールを自動送信し、工事関係者に周知できる。
- ⑥現場WEBカメラの設置により、計測器周辺



水中マイクロホン



水中騒音振動計

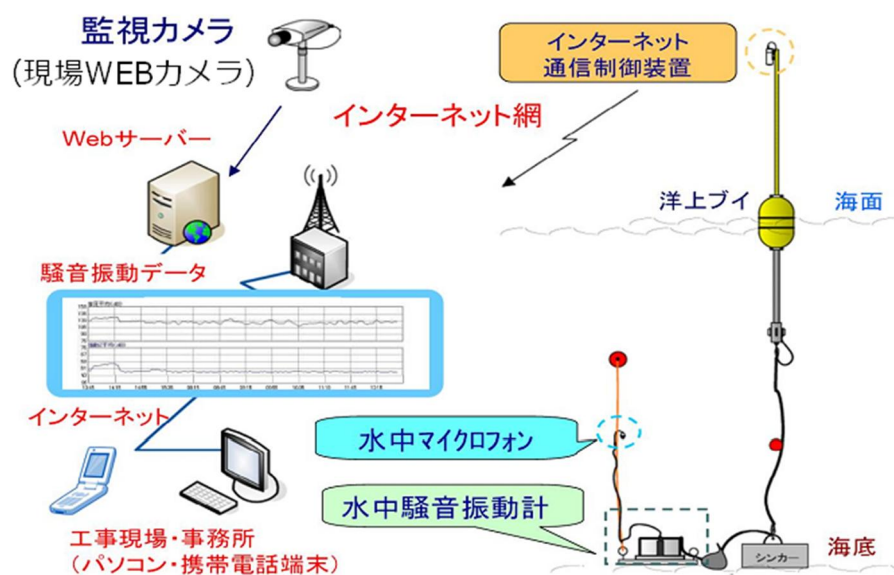


図1 水中騒音振動監視システムの概要

を航行する船舶の状況等を監視し、工事以外の水中騒音、振動の影響を特定することもできる（図2）。

また、本システムの特長は以下に示す。

- ① 施工中の水中騒音や振動を自動計測・解析することにより、効率的かつ低コストの監視が可能である。
- ② 水中騒音・振動の解析データをリアルタイムに複数の場所から監視できるため、確実な監視体制が形成できる。
- ③ 計測器は軽量であり、設置が人力で簡単にできるため、計測点の移動が容易である。
- ④ 工程や工種に応じて測定条件等の変更を事務所等のパソコンから遠隔操作できるため、監視の省力化が実現できる。
- ⑤ 事前の生物実験等を活用し、施工に伴う水中騒音・振動の生物への影響を定量的に評価できる。

3. 影響評価のための生物実験

現在、水産資源を対象とした水中騒音・振動の規制基準は設けられていない。水中騒音や海底振動の水産資源に対する影響については情報が限られており、水域の工事に伴う水中騒音・海底振動の影響を定量的に評価するためには、関連する知見の蓄積が今後さらに必要である。一般的な魚類に対する水中音圧の影響レベルは、「水中音の魚類に及ぼす影響、(社)日本水産資源保護協会(1997)」で報告されているが、施工中の海底振動の貝類への影響については、情報が無かった。そのため、次のような生物実験を試みた。

(1) 実験の方法

貝類の生理的な感受機能についてデータを取得するにあたり、実海域では一般に流れや水質などの影響を受けやすいため、一定条件下での生物観察が可能となる室内において加振器を用いた振動実験を行った。

魚類の聴覚感度は周波数帯によって異なることから、生物種別、周波数別に振動加速

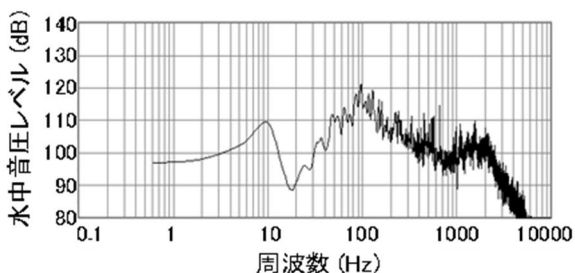


図2 工事以外の水中騒音の周波数特性の一例



写真1 加振機による貝類の振動実験



写真2 貝類振動実験（ナミガイの例）

度レベルに対する反応を観察した。貝類を配置した水槽に、とくに海底への衝撃が大きい杭打ち工事時の海底振動に相当する鉛直振動を加え（振動加速度レベル：60dB～115dB、周波数：5～60Hz）、その反応を整理した。実験対象の貝を種ごとに水槽に入れ、加振機で鉛直振動を与えて反応を観察した。実験中、貝が振動によるストレスで活性を落とさな

いよう貝に与える振動は1回あたり10秒間とし、実験間隔などに配慮しながら実験を進めた。次に、10秒間の加振に対する反応を観察した後、貝類が繰り返し振動を受けどのような反応を起こすのかを確認した。

(2) 実験の対象

実験の対象として沿岸域で漁獲される代表的な貝類5種類アサリ、バカガイ、ハマグリ、サザエ、ナミガイを選定した。市場ではバカガイはアオヤギ、ナミガイはシロミルの名で知られる。サザエ以外の貝はいずれも砂の中に潜り、水管を通じて藻類やデトリタスなどを餌として摂取する。実験に用いた貝の殻長は、アサリが35~40mm、バカガイが60~70mm、ハマグリが63~87mm、ナミガイが70~80mm さらにサザエが60~70mmであった。これら5種の貝類はそれぞれの水槽で実験用の海水で順化したのち、活性の高い個体を選んで実験に用いた。

(3) 試験条件と判定基準

一般に、海底振動が貝類へ影響を及ぼしたか否かを判定する基準や試験方法は定められていない。このため、判定基準については表1に示す行為を「影響あり」と設定した。

表1 振動に対する影響判定基準

対象生物	影響ありの判断基準
アサリ・バカガイ	加振により水管を引っ込める
ナミガイ	加振により水管先端部を閉じる
サザエ・ハマグリ	加振により蓋を閉じる

【影響なし】



【影響あり】

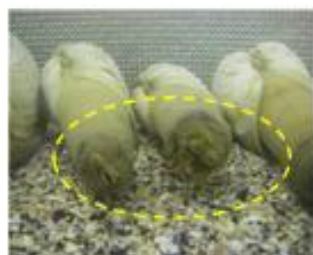


写真3 ナミガイの反応状況

これは、水管を通じて摂餌するアサリ、バカガイおよびナミガイにとって水管を引っ込める行為や水管の先端を閉じるという行為、ハマグリやサザエが蓋を閉める行為は、餌が取れない状況であり、こうした状況が続くことは貝にとってダメージになると考えたからである(写真3)。

(4) 実験の結果および考察

図3、図4に特徴がみられた周波数について、5種の貝の反応の割合を示した。

(a) アサリの反応傾向

アサリが反応したもっとも低い振動加速度レベルは、100 dB(20 Hz)であり、また100%の反応がみられたのは110 dB(15 Hz)であった。しかし、5 Hzでは115 dBでも1割程度の反応にとどまり、周波数による感度の違いが見られた。

(b) バカガイの反応傾向

バカガイが反応したもっとも低い振動加速度レベルは、アサリ同様100 dB(20 Hz)であり、かつ100%の反応がみられたのも100 dB(20 Hz)であった。10 Hz~20 Hzの115 dBでは全個体が反応したものの、5 Hzでは115 dBでも2割程度の反応にとどまった。

(c) ハマグリの反応傾向

ハマグリが反応したもっとも低い振動加速度レベルは、前述の2種と同様に100 dB(20 Hz)であった。周波数による感度の違いも、他種と同様に認められた。

(d) サザエの反応傾向

サザエが5種の中でもっとも反応が薄かった。115 dB(15 Hz)でようやく反応がみられたが、反応した個体は過半数にも満たなかった。

(e) ナミガイの反応傾向

ナミガイは他の4種では反応が観られなかった80 dB(15 Hz)で反応があり、他種でとくに反応が乏しかった5 Hzでも90 dBから反応をみせた。110 dBでは5~20 Hzの全周波数で100%の反応がみられ、ナミガイの感度が他の貝に比べて高い特性が捉えられた。

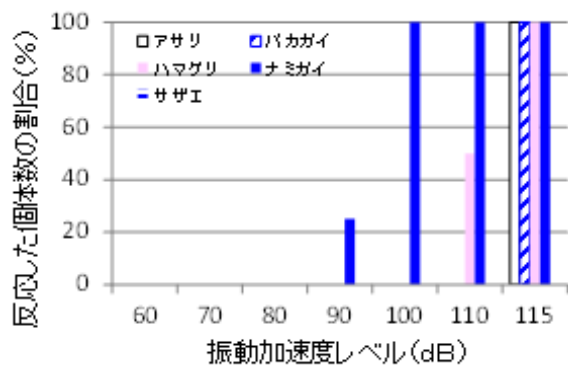


図3 10Hzにおける貝の種別反応結果

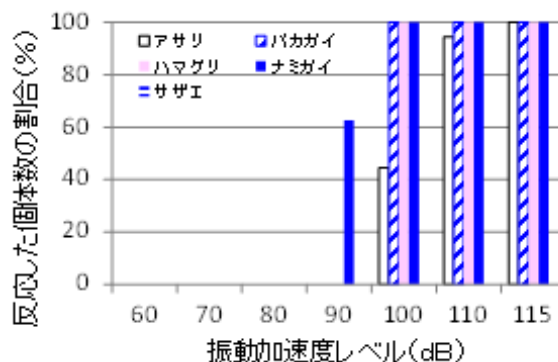


図4 20Hzにおける貝の種別反応結果

同じ振動加速度レベルでも周波数によって貝各種の反応が異なることから、海底振動の貝類への影響評価では、周波数に対する感度の特性についても情報が必要である。

(f) 長時間の加振に対する反応

貝全種において10秒間振動を停止すると約10秒～1分後には活動を再開する状況がみられた。例えば、ナミガイでは加振終了から30秒後には全ての個体が回復をみせた。さらに、反応後に同じ条件で再加振しても反応しない、刺激に対する一種の馴れとみられる様子も観察された。こうした馴れと思われる反応は個体差があるため評価には注意が必要であるが、これにより振動が直ちに貝類の大きなダメージにならない可能性も示唆された。

以上の加振器を用いた水槽実験において、アサリ、バカガイ、ハマグリでは100 dB (20 Hz) ではじめて振動に対する反応が観られたのに対し、ナミガイはそれより低い80 dB (15 Hz) で反応する様子が観察された。また、貝の種によって大きく反応する周波数成分が異なり、振動への感受性の違いが捉えられた。

4. おわりに

海域の工事に伴う環境負荷を低減するため「水中騒音振動監視システム」を開発した。施工中の水生生物に対する水中騒音・振動の

影響を定量的に評価するために、貝を用いた水槽実験を試みた。実験で得られた知見を基に施工中の管理基準を設定し、本システムを東京湾や水島港などの建設工事で実用化した。今後さらに実績を重ね、施工に伴うさまざまな水中騒音・振動の特性と海域の背景雑音に関するデータを蓄積・分析し、本システムによる計測値の評価精度を向上させたい。

☆ 健康百話（59） ☆

—症状から病気へ⑰口渇・多飲—

若葉台診療所 加行 尚

1 はじめに

いよいよ暑い夏の季節になりました。異常気象で騒がれている現在、今年の夏はどうなるのでしょうか。気になるところです。

世界中で行われているマラソン大会では、そのコースには必ず給水・栄養補給所が設置されており、マラソン選手は走りながら各自の給水容器を素早く取って走りながら水分補給をしています。それは全長 42.195 km を走りぬぐために、激しい発汗と体力消耗を補うためにはどうしても必要なことです。

動物は水分が不足してくると口が渇き、水を飲みたくなります。アフリカ大陸の動物たちは水場を求めて長距離を移動しています。当たり前のことですが、今回はそのメカニズムと病気との関係を考えていきたいと思います。

2 口渇（のどの渇き）のメカニズム

のどが渇くということは、体内の水分が足りなくなっていることの証です。それは体液の“ホメオスタシス（恒常性）”を保つための重要な症状です。

*ホメオスタシス（恒常性）：生物体の体内諸器官が、外部環境（気温、湿度など）の変化や主体的条件の変化（姿勢や運動など）に応じて、統一的・合目的に体内環境（体温・血流量・血液成分など）を、ある一定範囲に保っている状態、および機能のことです。哺乳類では自律神経と内分泌腺が主体となって行われています。この恒常性が破綻した状態が病気となります。

3 体液と水

人体の構成要素の中で最も多く含まれる物は“水”です。年齢、性、肥満度による水分含有量の差はありますが、ほとんど全ての年代で体重の過半数を占めています。例えば新生児・乳児では 70～80%、成人男子では 55～65%、老人・成人女性では 45～55% です。老若男女にける含水量の差は、それぞれの個体において占める脂肪細胞（含水量<10%）と骨格筋（含水量>75%）の割合の差に依存します。（図1）

人の体内の水分構成は、図1のようになっていますので、一般的に運動中の体液の喪失や塩分の多い食事を摂ると、その結果として、口が渇いて水をたくさん飲む、ということになるのです。

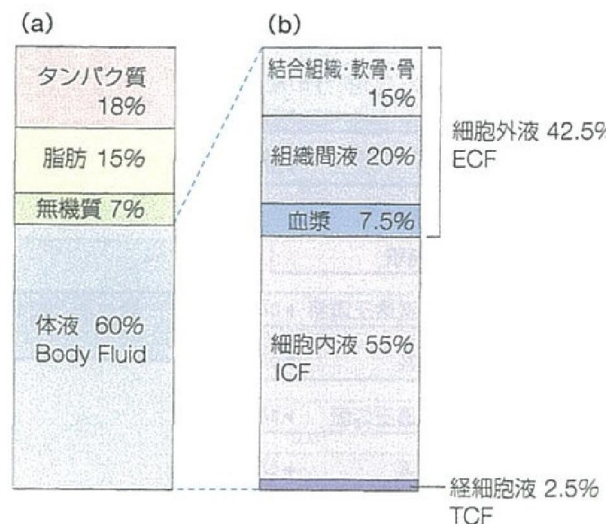


図1 人体の構成要素
(a)：体を構成する科学物質と水分量
(b)：3区分。

4 口喝の原因

1) 細胞内液と細胞外液の水分および体液が何かの理由で少なくなりますと、血漿浸透圧が上昇し、循環血液量が減少しますので、その結果として口が渇きます。このメカニズムには脳の中の多くの受容体および循環動態の生理学的機構が関与しており、専門的になってまいりますので、割愛させていただきます。

2) 原因疾患に随伴する症状

細胞内液及び細胞外液が少なくなること(脱水)は、食欲不振、発熱、嘔吐、下痢、出血などで起こります。

腎臓から排泄される尿の量が多いか、少ないかをチェックしなければなりません。

うっ血性心不全、肝硬変、ネフローゼ症候群に関しては、手足の浮腫(むくみ)、胸水貯留(肺に水が溜まります)、腹水貯留(お腹に水が溜まります)などが起こり、これらは血管の外へ水分の貯留が起きていることを意味します。

糖尿病では絶対的インスリン作用不足が原因ですが、その他にも感染症などの基礎疾患も誘因となって脱水を起こします。

シェーグレン症候群はあまり耳慣れない病

気かもしれませんが、主に40歳から60歳の中年の女性に発症し易い自己免疫疾患です。これは涙腺や唾液腺の細胞が障害され、その結果涙液や唾液の分泌が減少し、目の渇きや口の渇きが起こります。

いずれの場合にも必ず主治医の先生へ御相談ください

5 口喝・多飲が起きた時の注意事項

- 1) 何時から口喝の症状に気が付いたか。
- 2) 症状は悪くなっていないか。
- 3) 1日中続いているか。
- 4) 体重が増加しているか、減少しているか。
- 5) 行動力が増加しているか、減少しているか。
- 6) 最近怪我をしてことがあるか。
- 7) いつもより排尿回数が多いか、少ないか。
- 8) いつもより尿量が多いか少ないか。
- 9) 発熱・発汗が多いか。
- 10) 手足の浮腫みがあるか。
- 11) 塩分の摂取が多いか。食事が変わったか。
- 12) 食欲が増進したか、減少したか。

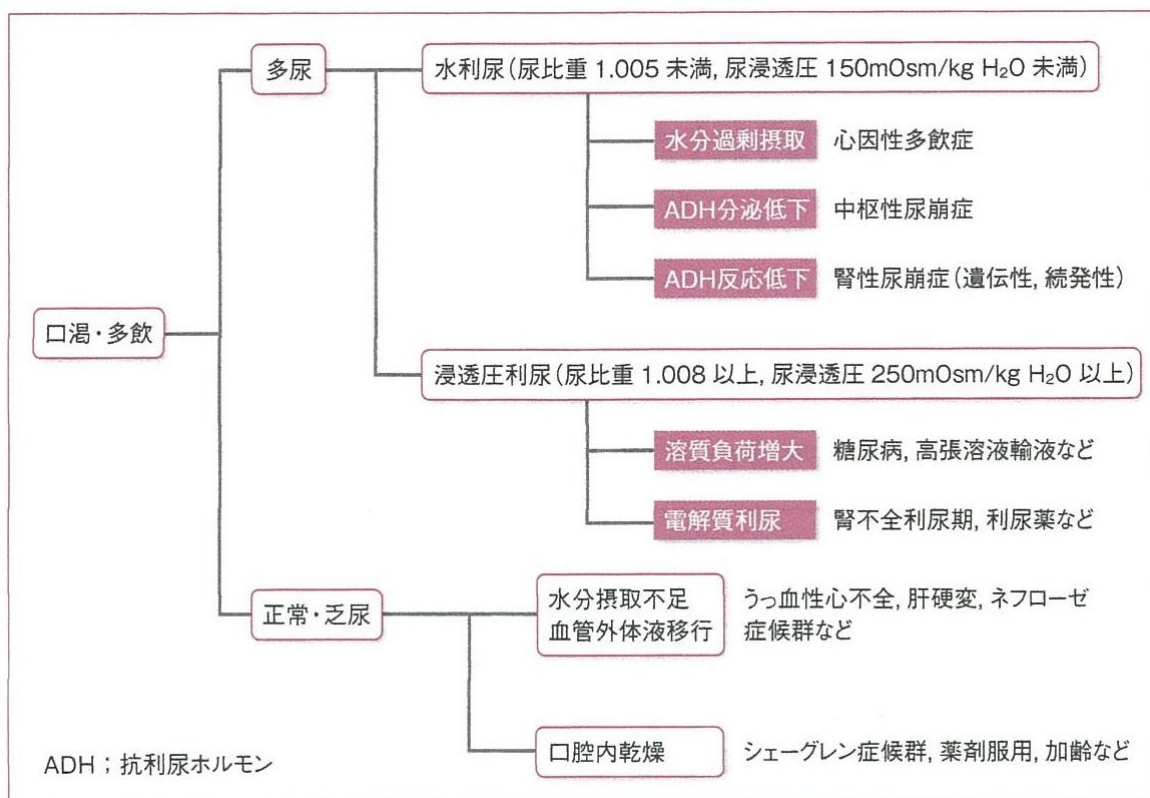
以上のような事項を記録して、主治医の先生の医療機関を受診して下さい。

表1 口喝の原因による分類

1) 細胞内外の水分 ・体液欠損	水分摂取不足		・消耗性疾患による食欲不振 ・神経筋疾患による嚥下困難
	水分・体液喪失	腎臓以外	・過度の水分・塩分の喪失：多汗，下痢，嘔吐 ・組織への血流移行による体液の喪失：重篤な感染(敗血症)や熱傷 ・血管外への体液の移行：うっ血性心不全，肝硬変，ネフローゼ症候群
		腎臓	・浸透圧利尿：糖尿病，高張溶液輸液 ・腎濃縮力低下：尿崩症，低カリウム血症，高カルシウム血症，慢性腎不全 ・利尿薬服用
2) 口喝中枢の異常			・心因性多飲症 ・視床下部周辺の腫瘍・炎症・外傷
3) 口腔内乾燥	唾液分泌の低下		・シェーグレン(Sjögren)症候群，加齢
	薬物服用		・抗コリン薬，抗ムスカリン薬など
	心因的要因		

参考文献1). 155頁より引用

表2 口渴・多飲の識別診断チャート



参考文献1). 157 頁より引用

参考文献

- 1) 跡見裕、磯部光章他(監)：症状からアプローチするプライマリケア：日本医師会雑誌第140巻・特別号(2)、2011
- 2) 小澤滯司・福田康一郎(総編)：標準生理学(第7版)：医学書院；2010
- 3) 泉 孝英(編集主幹)：今日の診療のためにガイドライン 外来診療 2017：日経メディカル開発；2017
- 4) 山口徹、北原光夫(総編集)：今日の治療指針 2004；医学書院；2004
- 5) 広辞苑第五版：岩波書店



海洋情報部コーナー

1. トピックスコーナー

(1) 平成 28 年度海洋情報部研究成果発表会

(本庁 海洋情報部)

海上保安庁海洋情報部は、平成 29 年 3 月 8 日（水）に中央合同庁舎第 4 号館において海洋情報部研究成果発表会を開催しました。

海洋情報部では、我が国の産業や国民生活を支える海上交通の安全確保、海洋に起因する災害への対応、海洋環境の保全、海洋権益の確保、さらには海洋情報の円滑な流通を図るため、最先端の調査・研究・開発を行っています。その成果を分かりやすく紹介する「研究成果発表会」を毎年開催しており、どなたでも無料で参加することができます。

今年度は「自律型海洋観測プラットフォームとその未来」をメインテーマとして、御手

洗哲司氏（沖縄科学技術大学院大学）による「Wave Glider による台風中心付近の風と流れの観測」と題した基調講演が行なわれた後、海洋情報部において実施している調査研究の現状及び成果として、「海上保安庁における AOV (Autonomous Ocean Vehicle) の活用方法について」、「衛星画像推定水深の海洋情報業務への活用」、「西之島における 2013-2015 年活動に伴う海底地形の変化」等の報告を行いました。

今年度は、199 名の参加者があり、盛況の内に発表会を終了することができました。



研究成果発表会の様子

(2) 測量船の海洋調査に向けた出港にあたり出港式を実施

(本庁 海洋情報部)

海上保安庁海洋情報部では、測量船が今年度の海洋調査に向け出港するのにあたり、平成29年4月18日に測量船「昭洋」・「拓洋」、19日に測量船「明洋」・「天洋」・「海洋」出港式をそれぞれ行いました。

18日の出港式では、中島海上保安庁長官から、「測量船が行う海洋調査は、政府が一丸となって取り組んでいる海洋権益の確保という重要な課題に対応するもので、現場の測量船は極めて重要な役割を担っていること。近年の調査活動では、大陸棚の延長、海底鉱床の発見、南海トラフのひずみの確認、西之島調査など、大きな成果を挙げており、国民から高く評価されていること。引き続き、今年度も、海底地形調査、潮汐・海潮流観測等、緻密さが要求される調査を実施することとなりますが、その結果は必ずや我が国、国民のためになるものと確信し、自信と誇り、「矜持」をもって取り組んで頂きたい」旨の訓示を受け、その後、仙石海洋情報部長から行動指令書の交付を行いました。

19日の出港式では、岩並海上保安監からの訓示を仙石海洋情報部長が代読し、引き続き行動指令書の交付を行いました。

両日とも出港式終了後、今年度の測量船各船の安全航行と成果のある海洋調査を祈念して、出港する測量船を見送りました。

測量船は今年度も海底地殻変動観測、海底地形調査、海域火山調査、海流観測などの調査を計画的に実施する予定です。



長官訓示



行動指令書の交付



天洋出港

(3) 測量船「拓洋」一般公開等（第69回東京みなと祭）

(本庁 海洋情報部)

海上保安庁海洋情報部は、東京都中央区の晴海ふ頭で開催された『第69回東京みなと祭』に参画し、5月27日（土）、測量船「拓洋」（総トン数2,400トン、全長96m）を一般の方に公開しました。

測量船拓洋は、無人でプログラミングされたとおりに海底近くまで潜り、非常に詳細な海底の地形を調査できる自律型潜水調査機器（AUV：Autonomous Underwater Vehicle）を搭載しており、その成果は船舶の交通安全や海洋権益の確保などに活用しています。

AUVは、国内では数が少なく、海上保安庁では拓洋にしか搭載していない非常に珍しい最新の調査機器ということもあり、見学者の関心も高く、AUVを展示している格納庫では、AUV「ごんどう」に関して、「何mまで調査できるの?」、「海流で流されないの?」などの多くの質問が飛び交っていました。

観測室では、AUVによる第3宮古海丘（沖縄県宮古島北方）における詳細な火山地形をあきらかにした成果等の最新の調査成果をパネル展示により紹介したほか、海図作製のための西之島上陸調査等の動画を公開しました。

甲板上では、測量船の調査によって取得したデータを用いた3D海底地形図マットを展示し、陸と比べ起伏の大きな海底の様子を実感していただきました。

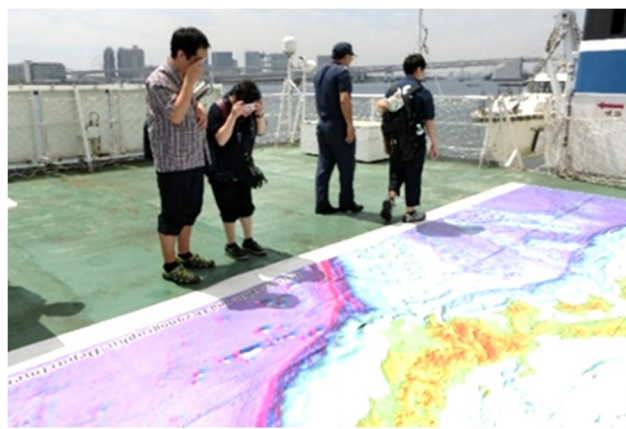
また、今回の一般公開では、専門家の講師の方々をお招きし、「東京湾の今を知ろう」と題して、東京湾環境講座を船内で同時開催しました。講座では、東京湾の水は何色か、東京湾に棲むハゼから環境について考える、といった内容で、東京湾の現状と私たちが東京湾再生のためにできることをご説明いただくとともに、植物プランクトンの観察やバーチャルハゼ釣り体験などを実施したほか、環境保全（海ゴミ問題等）に係る普及啓発活動も実施しました。

当日は天候にも恵まれ、約2,900名の方に見学していただきました。

海洋情報部では、海上保安庁そして海洋情報部の仕事を国民の皆様にご理解いただくことを目的として、様々な機会を活用して測量船の一般公開を実施していますので、機会があれば足をお運びいただけたら幸いです。



AUV展示の様子



3D海底地形図



東京湾環境講座の様子



環境保全の普及啓発活動の様子

(4) 海上保安学校の紹介

(海上保安学校)
(本庁 海洋情報部)

海上保安学校は、海上保安庁の各分野の専門職員を養成するために京都府舞鶴市に設けられた教育機関で、1～2年の修学期間の中で業務に必要な知識技能を教授し、併せて心身の練成を図っています。

当校には、船舶運航システム課程（航海コース、機関コース、主計コース：各1年間）、航空課程（1年間）、情報システム課程（2年間）及び海洋科学課程（1年間）が設けられており、全寮制の下、実践的な授業で各分野のエキスパートを育成しています。

海洋情報部に配置する職員を養成する海洋科学課程では、海洋調査、海図編集等の業務で必要とする知識技能を修得するための授業が行われています。授業では座学以外にも陸上における測量実習、洋上での乗船実習など、さまざまなフィールドワークを通して、現場での実践にも柔軟に対応できる人材育成を目指したカリキュラムを組んでおります。なお、海洋科学課程は、国際基準で定められた「国際水路測量技術者資格B級」の我が国唯一の養成機関として国際認定を受け、国際基準の



経緯儀取扱実習



電子海図編集実習

レベルの水路測量技術者を養成しています。

入学金や授業料は不要であり、入学と同時に国家公務員（海上保安庁職員）として採用され、行政職（一）1級5号俸の給与やボーナスが支給されるほか、共済組合の保険給付などが受けられ、海洋科学課程卒業後は海上保安官として本庁や管区本部など全国各地に配属されることとなります。

海洋科学課程学生の約半数が理系の大学卒業業者で占められています。一方、理系でなくても、海への憧れを強く抱いて海洋科学課程

を受験する者も少なくなく、実際に文学部や法学部出身の者や、高校を卒業して直ぐ海上保安学校に入学する者も多くいます。また、女性学生の割合は約4割と比較的高いものとなっています。卒業後は、女性でも船舶や航空機に乗り、現場の最前線で海洋調査に携わるなど、幅広いフィールドにおいて実務を行っています。出産後に職場復帰している女性職員も多く、ライフワークバランスの実現を積極的にサポートしています。

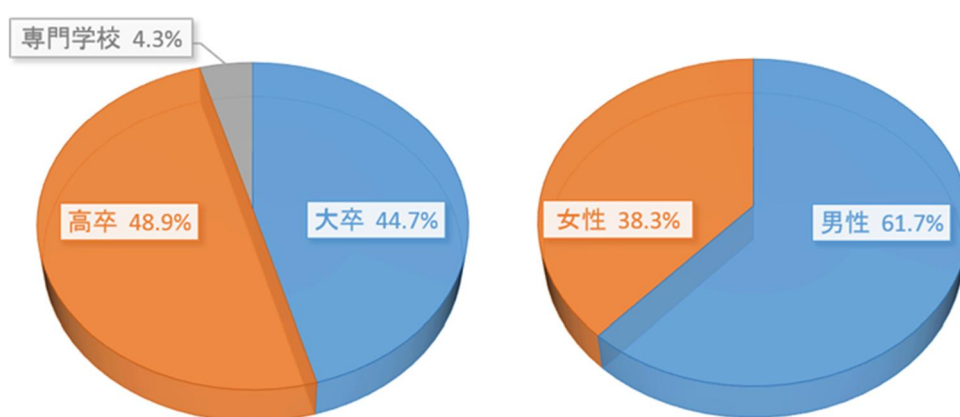


図1 海上保安学校採用内訳（過去5年間）

海上保安学校海洋科学課程では日本の海に対する旺盛な好奇心を持った学生の入学をお待ちしております。

海上保安学校に関する詳細は以下の URL をご覧ください。

<http://www.kaiho.mlit.go.jp/school/>

●海上保安学校試験

受付期間：平成 29 年 7 月 18 日（火）～7 月 27 日（木）

（高卒程度試験：高卒見込みの者及び高卒後 5 年を経過していない者）

採用情報に関する詳細は以下の URL をご確認ください。

<http://www.kaiho.mlit.go.jp/ope/saiyou/bosyu.html>

2. 国際水路コーナー

(1) 第1回国際水路機関 (IHO) 総会

モナコ

平成 29 年 4 月 24-28 日

4月24日から28日にかけて、モナコ公国(レーニエ三世講堂)において、第1回国際水路機関(IHO)総会が開催されました。2016年11月にIHO条約改正議定書が発効して以降、初めての総会となります。

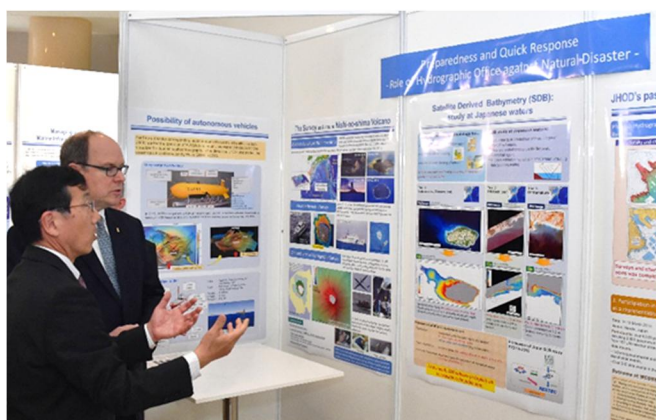
今次会合には、加盟87カ国のうち77カ国344名が参加し、海上保安庁海洋情報部からは仙石部長ほか4名、また、一般財団法人日本水路協会からは西田技術アドバイザーほか2名が参加しました。会合では、IHOの2012-2016年の活動報告、各国からの提案文書の検討、2018-2020年の活動及び予算計画等の審議のほか、次期IHO事務局長及び部長選挙、理事会の構成国である理事国選出の承認が行われました。

我が国は、海上保安庁が実施した東日本大震災後の対応を踏まえ、災害時に水路機関が取るべき指針について定めた災害対応に係るIHO決議の改正提案を行い、議場で提案趣旨

についてプレゼン発表を行いました。議場における活発な議論の結果、当該決議の改正については、総会での各国コメントを踏まえ、IHOの地域間調整委員会(IRCC)で引き続き検討されることになりました。

IHOの次期事務局長及び部長選挙では、事務局長選挙に6名、部長選挙に8名が立候補し、投票の結果、新事務局長として Mathias JONAS 氏(ドイツ海事水路庁次長)、新部長として Abraham KAMPHER 氏(南アフリカ水路部長)及び Mustafa IPTES 氏(トルコ:現IHO部長)が選出されました。新事務局長及び部長は、本年9月1日からIHO事務局に着任する予定です。

最後に、理事国選出の承認では、我が国を含む30ヶ国が理事国として選出されました。今回選出された理事国の任期は、次回総会が開催される2020年4月までの3年間となります。



モナコ大公への我が国展示説明



会議風景



第1回総会への我が国参加者

(2) カンボジアへの技術訪問について

カンボジア（プノンペン）

平成 29年 4月 3-5日

4月3-5日、東アジア水路委員会(EAHC) 代表団は、カンボジア国の公共事業運輸省 (Ministry of Public Works and Transport (MPWT)) 他を訪問しました。

カンボジア国は、現在、国際水路機関(IHO) 及び東アジア水路委員会 (EAHC) に加盟しておらず、今回の訪問は、IHOにおいて承認されている人材育成事業の一環として実施され、両機関への加盟奨励を目的としたものです。代表団は、EAHC 議長国マレーシアの Rear Admiral Dato' Fadzilah bin Mohd Salleh 水路部長、副議長である海上保安庁仙石海洋情報部長、さらに同部航海情報課野口課長補佐、マレーシア担当官2名の合計5名で構成されました。

まず、代表団は内陸水路運輸局 (Inlands Waterways and Transport Department) を訪

問し、IHO、EAHC の役割について説明を行いました。議長の総括的な説明に加え、副議長である仙石部長からも Hydrography の重要性や IHO の人材育成プログラムについて詳細を紹介し、加盟することによるメリットについて丁寧に説明しました。

また、現地視察としてプノンペン市内から約30キロメートル離れたプノンペン自治港を視察しました。同港はカンボジア国際港湾の一つで、公共事業運輸省の監督下にありますが、メコン川河口から港湾までをカバーする適当な海図は整備されておらず、現在は出入港にあたっては水先案内人や経験者に頼っているそうです。

最後に、公共事業運輸省本省に移り、担当副大臣である H.E Sun Chanthol 氏を表敬訪問しました。副大臣からは、代表団の訪問に

感謝すると共に、IHO加盟に向けて、財政当局の承認を求めているといった発言がありましたので、今回の代表団の訪問はカンボジ

ア国にとって非常に価値の大きかったものと考えられ、今後、進展していくことが期待されます。



担当副大臣を訪問する EAHC 代表団



副議長として説明する仙石部長



EAHC 代表団とカンボジア国関係者の集合写真

(3) 第 24 回国際海洋データ情報交換 (IODE) 政府間海洋学委員会 (IOC)

マレーシア (クアラルンプール)

平成 29 年 3 月 28～31 日

平成 29 年 3 月 28～31 日の間、マレーシアのクアラルンプール市において、国際海洋データ情報交換 (IODE) に関する第 24 回政府間

海洋学委員会 (IOC) 委員会が開催され、我が国からは、IODE の共同議長である道田豊東京大学教授、馬場典夫海上保安庁海洋情報部海

洋情報課長補佐、鈴木亨一般財団法人日本水路協会海洋情報研究センター研究部長が参加しました。世界各国からは、海洋データ及び情報交換を担当する機関から、約70名が参加しました。国連の持続可能な開発目標でIOCが責務を担っている目標14へのIODEとしての貢献、IODEにおける構造改革及び戦略計画、今後2ヵ年の活動計画が議論され、生物地理情報システム(OBIS)のOBIS-ENV-DATAパイロットプロジェクトの成果を踏まえ、新たに2

ヵ年計画で、OBIS イベントデータの科学的活用を目的としたパイロットプロジェクトを立ち上げることが採択されました。地域の取組として西太平洋域における海洋データ情報交換に関する能力開発プロジェクト(ODINWESTPAC)の実施が採択され、ODINWESTPAC のパイロットフェーズから引き続き中国がプロジェクトリーダーを務めることが決定されました。

次回は、平成31年3月に開催される予定です(開催地未定)。



出席者の集合写真



海洋情報部人事異動

新官職	氏名	旧官職
平成29年5月9日付		
海洋部環境調査課上席環境調査官	林王 弘道	マレーシア大使館

3. 水路図誌コーナー

平成29年4月から6月までの水路図誌等の新刊、改版、廃版等は次のとおりです。
詳しくは海上保安庁海洋情報部のHP (<http://www1.kaiho.mlit.go.jp/KOKAI/ZUSHI3/default.htm>) をご覧ください。

海図

刊種	番 号	図 名	縮尺 1 :	図積	発行日
改版	W 1 2 9 8	島前諸分図 海士港付近 別府港 来居港	5,000 5,000 5,000	1/2	2017/4/14
改版	W 1 3 8	宇和島湾付近 (分図) 宇和島港	30,000 10,000	全	2017/4/28
改版	W 1 1 2 4	松山港及付近	12,000	全	
改版	W 1 1 9 1	青森港及付近 (分図) 青森港	20,000 8,000	全	
改版	W 7 1	唐丹湾至山田湾	50,000	全	2017/5/19
改版	W 9 1	横須賀港浦賀及久里浜	11,000	全	
改版	J P 9 1	YOKOSUKA KO URAGA AND KURIHAMA	11,000	全	
改版	W 2 2 9	伊平屋列島 (分図) 前泊港 (分図) 仲田港	35,000 7,500 7,500	全	
廃版	W 1 4 8 4	前泊港, 仲田港 前泊港 仲田港	5,000 5,000	1/4	
改版	W 1 9 2	九州西岸諸分図 阿久根港 富岡湾 口之津港 片浦湾 坊泊漁港	12,500 25,000 25,000 25,000 25,000	1/2	2017/5/26
改版	W 1 1 0 9	呉港及付近	10,000	全	2017/6/9
改版	J P 1 1 0 9	KURE KO AND APPROACHES	10,000	全	
改版	W 5 7	犬吠埼付近	35,000	1/2	2017/6/23
改版	W 2 3 5	伊江港, 名護漁港 伊江港 名護漁港	5,000 5,000	1/2	
新刊	W 1 3 5 6	西之島	25,000	1/2	

上記海図改版に伴い、これまで刊行していた同じ番号の海図は廃版となりました。
廃版海図は航海に使用できません。

電子海図

刊種	航海目的	セル番号	対象海図等	セルサイズ	発行日
新刊	4 アプローチ	JP44EQRJ	W1356「西之島」	30分	2017/6/30
		JP44FEB0	硫黄鳥島	30分	

沿岸の海の基本図「海底地形図」

刊種	番号	図名	縮尺 1 :	図積	発行日
改版	6 5 5 6 ⁸	西之島	50,000	1/2	2017/6/30

大陸棚の海の基本図「海底地形図」

刊種	番号	図名	縮尺 1 :	図積	発行日
新刊	6 7 2 0	南西諸島	1,000,000	全	2017/4/28



ISO 9001 : 2015 認証を更新

一般財団法人 日本水路協会 水路図誌事業本部

水路図誌事業本部は、水路図誌（海図、航空図、航海用電子海図(ENC)、水路書誌）の複製頒布業務を確実に遂行するため、品質管理、品質保証の国際規格である ISO 9001 を取得しています。

当初の対象は、「ENCの複製頒布」のみで、平成19年12月と翌1月に認証登録審査機関による審査基準に適合し、平成20年2月7日、ISO 9001 : 2000 の認証登録がされました。¹⁾

その後、紙媒体の水路図誌の複製頒布業務においても、平成21年(2009年)7月に認証登録審査機関による「拡大審査」(ENC部門に紙媒体の水路図誌部門を追加する)を受け、水路図誌全般にかかる ISO 9001 : 2000 の認証登録をしました。更に、平成22年2月には2008年版への「更新審査」の基準に適合し、ISO 9001 : 2008 の認証登録の継続が確認されました。²⁾

ISO 認証の有効期間は3年であり、第3回目の有効期間は、平成29年(2017年)2月6日まででした。継続登録のためには、期限日以前に「更新審査」の基準に適合する必要がある、いずれの回も不適合等はなく、現在は、平成32年(2020年)2月6日を期限とする ISO 9001 : 2015 の認証が新たに登録されました。

ISO 9001 は、1987年に品質保証の国際規格として制定され、1994年、2000年、2008年に改定され、2015年には、第5版となる ISO 9001 : 2015 が発行されました。

第3回目の「更新審査」の前に、ISO 9001 : 2008 年度版から2015年度版へ「移行」するため、従来からあった「品質管理マニュアル」を見直し、2015年度版の新しい規格の要求事項を満たした「品質管理マ

ニュアル」と要求事項の意図を満たしたプロセス、文書様式等を作成しました。この新しく作成した「品質管理マニュアル」等を基に、認証登録審査機関の「更新審査」受け、2015年度版への更新が完了していることが認められました。

今後も、水路図誌事業本部においては、ISO 9001 : 2015 (品質マネジメントシステム) の規格の要求事項を満たし、顧客満足度の向上が目的であることを認識し、品質管理システムの円滑・適正な運用に努めていく事としています。

参考文献

- 1) 「電子海図業務で ISO9001:2000 認証を取得」
機関誌「水路」第145号 p28-31 (2008)
- 2) 「ISO9001:2008 認証を更新」
機関誌「水路」第157号 p54 (2011)



ISO 認証登録証 (掲示用コピー)

一般財団法人 日本水路協会 第19回理事会開催

平成29年5月22日（月）、東海大学校友会館において、第19回理事会が開催されました。

○理事会（11時～12時）

- 1) 平成28年度事業報告及び決算報告について
- 2) 平成28年度公益目的支出計画実施報告書について
- 3) 報告事項（代表理事及び業務執行理事の職務執行状況について）

一般財団法人 日本水路協会 第8回評議員会及び第20回理事会開催

平成29年6月6日（火）、東海大学校友会館において、第8回評議員会及び第20回理事会が開催されました。

○評議員会（16時40分～17時50分）

- 1) 平成28年度事業報告及び決算報告について
- 2) 評議員の選任について
- 3) 理事及び監事の改選について
- 4) 報告事項（平成29年度事業計画及び収支予算について）
- 5) "（平成28年度公益目的支出計画実施報告書について）

○理事会（18時00分～18時10分）

- 1) 代表理事及び業務執行理事の選定について

水路業務功績者表彰

平成29年6月6日（火）、東海大学校友会館において、平成28年度水路業務功績者の表彰を行いました。

- 大陸棚調査における音波探査記録の解析作業など海洋調査の推進に貢献
伊藤忠テクノソリューションズ株式会社 加藤 進 氏
- 電子海図やニューペックなどの海図関連製品の必要性や活用法の周知に貢献
株式会社舵社 安藤 健 氏
- 日本国内における電子海図表示装置の開発や普及に貢献
日本無線株式会社 平山 圭一 氏
- 水路測量の高度化のためマルチビーム音響測深機の早期導入、普及に貢献
オーシャンエンジニアリング株式会社 寺西 和佳 氏



受賞者

(左から 加藤 進 氏・安藤 健 氏・平山 圭一 氏・寺西 和佳 氏)

平成 29 年度 1 級水路測量技術研修実施報告

上記研修を一般社団法人海洋調査協会と共催で、前期（平成29年5月8日～20日）・後期（5月22日～27日）に分け、一般財団法人日本水路協会・研修室（東京都大田区羽田空港 1-6-6）において実施しました。

1. 講義科目と講師

◆ 前期（港湾級・沿岸級共通）

- ・水路測量と海図（海図概論）[八島 邦夫]
- ・基準点測量（測地、測定方法、位置測定）[佐々木 稔]
- ・基準点測量（高さの測定、海岸線測量、資料の作成）[田中 日出男]
- ・水深測量（測位・測深：マルチビーム音響測深機の儀装、機器の取扱い
海上実習〈保田漁港周辺〉、データの解析）[株式会社東洋テクニカ]
- ・水深測量（測位：GPS/GNSS の概要、GPS による測位実習）[大橋 徹也]
- ・水深測量（デジタル測量成果）[鬼頭 毅]
- ・水深測量（測深：多素子音響測深機の原理・構造・取扱い、記録の整理、資料作成）
[田中 日出男]
- ・水深測量（測深：サイドスキャンソナーの原理・構造・取扱い）[松原 修三]
- ・水深測量（測深：測深と基準面）[戸澤 実]
- ・潮汐観測（潮汐の概要、験潮所実地研修（横浜港）、潮汐記録の整理、資料作成）
[山田 秋彦]

◆ 後期（沿岸級）

- ・地図投影（地図の投影、測地計算）[八島 邦夫、佐々木 稔]
- ・水深測量（測量成果の作成、海底地形図（素図）の作成）[西川 公]
- ・海底地質調査（地学一般、海底地質概論、音波探査機及び採泥器、音波探査記録及び
採集底質の整理、海底地質構造図・底質分布図の作成）[桂 忠彦]

2. 研修受講修了者

港湾級 8 名及び沿岸級 4 名の方々が研修を修了されました。

3. 実習紹介



保田漁港での様子



保田海水浴場での様子

平成 29 年度 2 級水路測量技術研修実施報告

上記研修を一般社団法人海洋調査協会と共催で、前期（平成29年4月3日～15日）・後期（4月17日～22日）に分け、一般財団法人日本水路協会・研修室（東京都大田区羽田空港 1-6-6）において実施しました。

1. 講義科目と講師

◆ 前期（港湾級・沿岸級共通）

- ・水路測量と海図（海図概論）[八島 邦夫]
- ・基準点測量（測地、測定方法、位置測定）[佐々木 稔]
- ・基準点測量（高さの測定、海岸線測量、資料の作成）[田中 日出男]
- ・水深測量（測位・測深：マルチビーム音響測深機の儀装、機器の取扱い
海上実習（平塚新港）、データの解析）[日本海洋㈱]
- ・水深測量（測位：GPS/GNSS の概要、GPS による測位実習）[大橋 徹也]
- ・水深測量（デジタル測量成果）[鬼頭 毅]
- ・水深測量（測深：多素子音響測深機の原理・構造・取扱い、記録の整理、資料作成）
[田中 日出男]
- ・水深測量（測深：サイドスキャンソナーの原理・構造・取扱い）[松原 修三]
- ・水深測量（測深：測深と基準面）[戸澤 実]
- ・潮汐観測（潮汐の概要、験潮所実地研修（横浜港）、潮汐記録の整理、資料作成）
[山田 秋彦]

◆ 後期（沿岸級）

- ・地図投影（地図の投影、測地計算）[八島 邦夫、佐々木 稔]
- ・水深測量（測量成果の作成、海底地形図（素図）の作成）[西川 公]
- ・海底地質調査（地学一般、海底地質概論、音波探査機及び採泥器、音波探査記録及び
採集底質の整理、海底地質構造図・底質分布図の作成）[桂 忠彦]

2. 研修受講修了者

港湾級 8 名及び沿岸級 11 名の方々が研修を修了されました。

3. 実習紹介



海上実習（艀装説明）の様子



験潮所実地研修の様子

平成 29 年度 沿岸海象調査研修実施報告

当協会と一般社団法人 海洋調査協会は、上記研修海洋物理コース（平成29年6月12日～16日）及び水質環境コース（同19日～23日）を当協会・研修室において開催しました。

受講者は、海洋物理コース4名、水質環境コース7名でした。

◆海洋物理コース（科目・講師）

海洋調査の現状と課題（小田巻 実）。**沿岸流動の特性**（吉田 次郎 東京海洋大学 学術研究院 海洋環境科学部門教授）。**潮汐の概説と潮汐観測・潮汐資料の解析と推算**（小田巻 実）。**波浪理論と資料解析**（平山 克也 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所港湾空港技術研究所 海洋研究領域波浪研究グループ長）。**漂砂調査法**（中村 聡志 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所 沿岸環境研究領域上席研究官）。**気象概論**（横山 博（一財）気象業務支援センター 振興部 振興業務課長）。**関連法規 1（港湾関係規定・法令）・港湾の知識、設計の基礎**（安立 重昭（株）ソニック 顧問）。**関連法規 2（海上保安庁所管法令）・安全管理**（西沢 邦和（株）武揚堂 経営企画室顧問）。

◆水質環境コース（科目・講師）

海洋調査概論（小田巻 実）。**海洋環境調査の現状**（寄高 博行 高知大学教育研究部総合科学系 黒潮圏科学部門教授）。**水質・底質の調査**（峯岸 宣遠 いであ（株）国土環境研究所 環境調査部長）。**沿岸環境アセスメント**（宗像 義之 国際航業（株）技術本部環境保全部 水環境研究室長）。**水産生物と海洋環境**（田中 祐志 東京海洋大学 学術研究院 海洋環境科学部門教授）。**流況観測と資料の解析（潮流解析）、最近の流況観測機器と取扱い**（山田 秋彦（株）調和解析 代表取締役）。**気象概論**（横山 博（一財）気象業務支援センター 振興部 振興業務課長）。**関連法規 1（港湾関係規定・法令）・港湾の知識、設計の基礎**（安立 重昭（株）ソニック 顧問）。**関連法規 2（海上保安庁所管法令）・安全管理**（西沢 邦和（株）武揚堂 経営企画室 顧問）。



環境調査コースの講義の様子

平成28年度 水路測量技術検定試験問題

港湾1級1次試験（平成28年 7月 2日）

－試験時間 85分－

法 規

問 次の文は水路業務法及び港則法の条文の一部である。

() の中に当てはまる語句を下から選びその記号を解答欄に記入しなさい。

1 水路業務法第2条

この法律において「水路測量」とは、(①) の測量及びこれに伴う(②) の測量並びにその成果を航海に利用させるための地磁気の測量をいう。(以下略)

2 水路業務法第6条

海上保安庁以外の者が、その費用の全部又は一部を国又は(③) が負担し、又は補助する水路測量を実施しようとするときは、(④) の許可を受けなければならない。(以下略)

3 港則法第31条

特定港内又は特定港の境界附近で工事又は作業をしようとする者は、(⑤) の許可を受けなければならない。(以下略)

イ. 国土交通大臣

ロ. 地方公共団体

ハ. 水域

ニ. 海上保安庁長官

ホ. 市区町村長

ヘ. 海洋

ト. 海岸線

チ. 陸域

リ. 港長

ヌ. 都道府県知事

ル. 土地

ヲ. 民間企業

基準点測量

問1 次の文は、基準点測量について述べたものである。

正しいものには○を、間違っているものには×を解答欄に記入しなさい。

- 1 新設基準点とは、等級告示に定める一級の精度を持つものである。
- 2 海岸線は、水面が最低水面に達した時の陸地と水域の境界である。
- 3 ジオイド面とは、重力の等ポテンシャル面のうち、おおよそ平均水面と一致する面である。
- 4 経緯儀による鉛直角の測定は、2対回行うものとする。
- 5 平面直角座標において座標原点を通るX軸の北は、真北と一致する。

問2 次の文は、GNSS測量におけるセミ・ダイナミック補正について述べたものである。()の中に適当な語句を入れ文章を完成しなさい。

日本列島付近では、複数の(イ)がぶつかり合い、複雑な(ロ)が起きてひずみが生じ、その影響は基準点の位置関係にも影響を与えている。

公表されている測量成果の(ハ)からの経過期間や基準点間の距離が長いほどその影響は大きくなる傾向にある。

このため、現在公表されている測量成果(この基準時のことを「(ニ)」という)を使用して測量を行った場合、測量して得た観測結果(この観測時のことを「今期」という)との間にかい離が生じる。

これを補正するのが、セミ・ダイナミック補正である。

セミ・ダイナミック補正は、(ホ)を既知点として基準GNSS測量を行った場合に行うこととされており、国の行政機関である(ヘ)が公表している(ト)のデータを手入手して補正を行う必要がある。

問3 水準測量において、往復観測の出合差の制限が2キロメートルにつき1.5センチメートルとした場合、3キロメートルの往復観測の出合差は、いくらまで許容されるか、センチメートル以下第1位まで算出しなさい。

水深測量

問1 次の文は、水深測量について述べたものです。正しいものには○を間違っているものには×を解答欄に記入しなさい。

- 1 音響測深記録の感度は、測深中一定に保つように留意するものとし、音響測深により得られる海底記録は、鮮明に記録させるように努めるものとする。
- 2 新しく発見した浅所、沈船、魚礁等については、最浅部の位置、水深及び底質を確認するものとする。
- 3 干出物等のうち顕著なものは、その位置、形状及び高さを測定しておくものとする。
- 4 多素子音響測深機を使用して測深する場合は、原則として斜測深を併用することとし、斜測深用の送受波器の指向角（半減半角）が5度以内のものを使用し、斜角は指向角の中心までとし20度を超えてはならない。
- 5 構造物、障害物等の撤去跡については、撤去されたことを確認し得る密度とする。

問2 バーチェックの整理の結果、実効発振位置は発振線下0.2メートル、パーセントスケールは0.0%であった。

送受波器の喫水量が0.8メートル、潮高改正量が1.6メートルの時の実水深読み取りの基準線は、発振線に対してどのような位置関係になるか、次の中から選びなさい。

- ① 下0.7 m ② 下0.8 m ③ 下0.9 m ④ 下1.0 m ⑤ 下1.1 m

問3 スワス音響測深機で取得した水深の編集をしたところ下記の不具合が発見された。その原因を記述しなさい。

- 1 平坦な海底の記録で、水深断面が直線的でなく両外側ビームの水深が中央付近を中心に同じ比率による曲線的な記録であった。
- 2 平坦な海底の記録で、作業船の進行方向に波状に凹凸な記録であった。
- 3 平坦な海底の記録で、水深断面が斜め（隣接測深線との等深線の接合がノコギリの歯のようになる。）の記録であった。
- 4 隣接測深線との水深が一定量のずれのある記録であった。

問4 スワス音響測深機を使用する前にパッチテストを行いますが、パッチテストを行うのに適した海域は、どのような海底地形のところですか。

潮汐観測

- 問1 次の文は、水路測量に伴う験潮について述べたものである。
正しいものには○を、間違っているものには×を解答欄に記入しなさい。
- 1 アナログ記録方式の自記験潮器の性能は、縮率が1/50以上、紙送り速度が12ミリメートル/時以上のものを使用する。
 - 2 副標（験潮柱）は、験潮所の付近に設置し、設置直後と撤去前に基本水準標等と高低差を求め、その変動を監視するものとする。副標の目盛りは、1センチメートル位までの潮高を読み得るものとする。
 - 3 測量区域内に潮高改正量が0.1メートル以上の差を生ずる水域がある場合は、改正区分を考慮し、必要があれば2箇所以上で験潮を実施するものとする。
 - 4 毎時の潮高及び測深実施期間中の20分ごとの潮高を験潮記録から読み取り、その値を験潮簿に記入するものとする。
 - 5 平均水面等の高さは、5年以上点検されていないもの及び直近の調査で、公示された値と0.1メートル以上の差がある場合については、測量の都度、検査して使用しなければならない。
- 問2 次の文は、水路測量業務準則施行細則において、験潮所基準測定成果について規定した部分である。（ ）の中に適当な語句を入れ文章を完成しなさい。
- 験潮所の基準測定成果には、験潮器の（ ① ）と副標の零位、（ ② ）、平均水面、（ ③ ）の上面、基本水準標等、国土地理院水準点との高低差、基本水準標等と（ ④ ）との高低差、球分体と（ ⑤ ）との高低差、基本水準標等とWGS楕円体高の関係のほか、験潮所位置図等を記載するものとする。
- 問3 A港の某日、某時刻において音響測深機により水深を測ったところ、14.5メートル（潮高以外は補正済み）であった。
A港には常設験潮所がなく、その時刻の臨時験潮器の観測基準面上の潮位は3.21メートルであった。
また、翌日の某時刻、臨時験潮器の観測基準面上の潮位が、2.51メートルであったとき、陸上固定点（BM）の高さを測ったところ5.85メートルであった。
下に示す資料の条件から

- (1) A港の観測基準面上の最低水面を算出する式を書きなさい
- (2) 海図記載水深を求めなさい。ただし、A港の Z_0 は0.90メートルである。
- (3) 陸上固定点 (BM) 下の最低水面をメートル以下第2位まで求めなさい。

資料	1) 最近5か年の常設験潮所 (基準験潮所) の永年平均水面 (A_0)	2.47 m
	2) 常設験潮所 (基準験潮所) の短期平均水面	
	平成28年5月1日～5月31日の平均水面 (A_1)	2.30 m
	3) A港の臨時験潮所の短期平均水面	
	平成28年5月1日～5月31日の平均水面 (A'_1)	1.98 m

水路測量講習会案内

水路測量に従事する技術者の技術の標準化、向上を図るため水路測量技術検定試験を実施しておりますが、1級水路測量技術合格者の更なる水路測量に関する知識・技術並びに深淺測量及び水路測量業務の管理及び統括を行う能力の維持向上のための水路測量講習会（以下「講習会」という）を実施します。この講習会を受講することにより、「公共工事に関する調査及び設計等の品質確保に資する技術者資格登録規程（平成26年国土交通省告示第1107号）」に基づいて、技術者登録簿に登録された資格（以下「国土交通省登録技術者資格」という）の保有者となります。なお、この「国土交通省登録技術者資格」は5年毎の更新制となります。

1 受講資格

当協会実施の1級水路測量技術（沿岸）又は1級水路測量技術（港湾）合格者のみです。

2 講習日時

平成29年11月14日（火）13時30分～17時00分

3 講習日・会場

TKP 東京駅前カンファレンスセンター 5F ホール5A
（東京都中央区八重洲1-5-20 石塚八重洲ビル）

4 受講料

13,000円（税込み）

5 申込み期間

平成29年9月11日～10月13日

6 講習内容

- ・水路測量に関する最新の知識・技術
- ・港湾関係法令、港湾の知識、設計の基礎
- ・安全管理

7 技術者資格の保有

- （1）受講後は1級水路測量技術（沿岸）又は1級水路測量技術（港湾）として、「国土交通省登録技術者資格」の保有者となります。
- （2）受講者には『国土交通省登録技術者資格認定証』を交付します。
- （3）資格保有の有効は5年間であり、水路測量講習会を受講することにより更新されます。

8 問合せ先

一般財団法人 日本水路協会 技術指導部
電 話：03-5708-7076
E-mail: kousyu@jha.jp

協会だより

日本水路協会活動日誌
「平成 29 年 4 月～6 月」

4 月

日	曜	事 項
3	月	◇ newpec (航海用電子参考図) 4 月更新版提供
3	月	◇ 2 級水路測量技術研修 (前期～15 日まで)
17	水	◇ 2 級水路測量技術研修 (後期～22 日まで)
25	火	◇ 機関誌「水路」第 181 号発行
27	木	◇ Yチャート(ヨット・モーター用参考図) H-176 (長者ヶ埼 - 江の島) H-185 (三河湾) 発行

5 月

日	曜	事 項
8	月	◇ 1 級水路測量技術研修 (前期～20 日まで)
10	水	◇ 機関誌「水路」編集委員会
17	水	◇ 第 1 回水路測量技術検定試験小委員会 (第 1 総合ビル中 2 階会議室)
22	月	◇ 第 19 回理事会 (東海大学校友会館)
22	月	◇ 1 級水路測量技術研修 (後期～27 日まで)
23	火	◇ 第 1 回水路測量技術検定試験委員会 (東京八重洲ホール会議室)

6 月

日	曜	事 項
3	土	◇ 2 級水路測量技術検定試験 (第 1 総合ビル中 2 階会議室など)
6	火	◇ 第 8 回評議員会・第 20 回理事会 (東海大学校友会館)
〃	〃	◇ 平成 28 年度 水路業務功績者表彰式 (東海大学校友会館)
7	火	◇ 第 2 回水路測量技術検定試験委員会 (東京八重洲ホール会議室)
12	月	◇ 沿岸海象調査研修 (海洋物理コース～16 日まで)
13	火	◇ 第 2 回水路測量技術検定試験小委員会 (第 1 総合ビル中 2 階会議室)
19	月	◇ 沿岸海象調査研修 (水質環境コース～23 日まで)
20	火	◇ 第 3 回水路測量技術検定試験委員会 (東京八重洲ホール会議室)



編集後記

- ★ 長坂 直彦さんの「英国大学院留学記《6》」は、2014年8月から2年間英国への留学を終え、約半年がたった今年の1月発行の本号第180号では英国で暮らす中で感じた英国文化の特徴、海外で学ぶ意義など紹介されましたが、帰国後約1年を経た今回は大学院留学二年目のキングスカレッジロンドンで行った研究「海の境界」関連について、境界の確定方法が時代とともに発展・変遷してきた経緯等が紹介されています。
- ★ 中陣 隆夫さんの「伝説の「孫七船長」まつわり話《4》-孫七先生と東海大学海洋学部草創期-」は、筆者が昭和42年12月大学教養2年の時に初めて孫七船長と出会ったこと、また、東海大学海洋学部の創設と孫七船長が大学丸Ⅱ世の船長となったいきさつや大学3年の時には大学丸Ⅱ世が行った「オホーツク海の沿岸測量」に参加したこと等の思い出が紹介されています。
- ★ 谷口 旭さんの「プランクトンが語る海の環境と生態系《2》」は、生態系の基本的な機能と食物連鎖の関係について、とりわけ食物連鎖についてはニシンの捕食被食関係を例にその複雑さを、また、複雑であ

るからこそ生態系は自律的、持続的でありうるということを理解することが大切であることなどが紹介されています。

- ★ 今村 遼平さんの「中国の地図を作ったひとびと《3》」は、魏・晋・南北朝の時代、いわゆる三国時代の随一の数学者であり世界で最初に十進法による少数の概念を提唱した人、また、幾何学の面では円周率を求める科学的な手法を提唱した劉徽（りゅうき）の測量・地図作成上きわめて大きな功績等についてご紹介されています。

- ★ 加行 尚さんの「健康百話 (59)」は、「口渴・多飲」についてのお話です。
人体の構成要素の中で最も多く含まれているのは“水”で、その含有量は全ての年代で体重の過半数を占めているそうです。その体液が少なくなった場合に起こる症状と口渴・多飲が起きた時の注意事項(1~12)についての紹介です。これから暑い季節です。室内にいても脱水症状になる場合がありますので、のどが渴いたと感じる前にこまめに水分補給をするようにしましょう。

(伊藤 正巳)

編集委員

- 加藤 幸弘 海上保安庁海洋情報部
技術・国際課長
- 西崎 ちひろ 東京海洋大学学術研究院
海事システム工学部門助教
- 今村 遼平 アジア航測株式会社
名誉フェロー
- 勝山 一朗 日本エヌ・ユー・エス株式会社
新ビジネス開発本部
営業担当部長
- 西村 遥 日本郵船株式会社
海務グループ 航海チーム
- 伊藤 正巳 一般財団法人日本水路協会
専務理事

水路 第182号

発行：平成29年7月25日
発行先：一般財団法人 日本水路協会
〒144-0041 東京都大田区羽田空港1-6-6
第一総合ビル 6階
TEL 03-5708-7074 (代表)
FAX 03-5708-7075

印刷：株式会社 ハップ
TEL 03-5661-3621

税抜価格：400円 (送料別)

*本誌掲載記事は執筆者の個人的見解であり、いかなる組織の見解を示すものではありません。