

目次

暦	旧暦の2033年問題	鈴木 充広	2
	平成30年度 水路新技術講演会		9
水路新技術講演	ペリー艦隊のみた黒潮から現在まで	道田 豊	10
研究	平成30年度 水路技術奨励賞(第33回)		18
	電子海図表示を用いた船舶運航支援装置の開発		19
	電動式スルースゲート津波造波装置(段波装置)の開発		24
	水路測量計画支援装置 OHTI-YS-SUPPORT の開発		30
	マルチビームソナー DFF-3D の開発		34
自然	プランクトンが語る海の環境と生態系《9》	谷口 旭	37
歴史	中国の地図を作った人々《11》	今村 遼平	46
コラム	健康百話(67)	加行 尚	53
	海洋情報部コーナー	海洋情報部	55

お知らせ

第24回理事会及び第10回評議員会・第25回理事会開催報告	63
平成30年度 水路業務功績者表彰	〃
2019年度2級水路測量技術研修実施報告	64
2019年度2級水路測量技術検定試験合格者	65
平成30年度 水路測量技術検定試験問題 港湾1級1次	66
協会だより	70
編集後記	71
海底地形デジタルデータ更新情報のおしらせ	72

表紙:「伊達政宗像」・・・稲葉 幹雄

仙台市青葉城址公園に建立されている「伊達政宗像」をペン画にしました。

作者ブログ <http://blog.goo.ne.jp/mikijii>

掲載広告

イラスト: 淵之上 倫子

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	73
株式会社 武揚堂	75
海洋先端技術研究所	77
一般財団法人 日本水路協会	78・79・80・表3
古野電気 株式会社	74
株式会社 鶴見精機	76
株式会社 東陽テクニカ	表4

旧暦の 2033 年問題 << 1 >>

海上保安庁海洋情報部 海洋調査課海洋防災調査室 鈴木 充広

今回、「旧暦の 2033 年問題」というタイトルで暦に係る問題について書かせていただくことになりました。暦に係る問題が世間の注目を集めることなど滅多にありませんが、そんな滅多にないことが起こりつつあるようです。「〇〇問題」などと書かれると何かおどろおどろしい問題のようですが、さてその本当の姿はどのようなものなのでしょう。

1 コンピュータの 2000 年問題と 閏^{うるう}

「西暦 2000 年の 2 月と 3 月の切り替えの日に世界中でコンピュータが誤動作して様々なトラブルが発生する」

今から 20 年ほど前にこんな騒ぎがあったことを御記憶でしょうか。この騒ぎには西暦 2000 年の年の特別な「閏日^{うるうび}」が関係したことから「コンピュータの西暦 2000 年問題」などと呼ばれました。この問題は暦に登場する「閏」という概念について考えさせてくれる分かりやすい例ですので、旧暦の 2033 年問題に入る前に、寄り道して内容を思い出してみましよう。

私たちが現在、日常生活で使用している暦は太陽暦の一種で、グレゴリオ暦と呼ばれる暦です。現在では世界のほとんどの国がこの暦を使用しています。

グレゴリオ暦の 1 年は基本的には 365 日で、これを 平年^{へいねん} といいます。これに対してほぼ 4 年に 1 度現れる 366 日の年を 閏年^{うるうとし} といいます。閏年では平年より多い 1 日を 2 月 28 日と 3 月 1 日の間に挿入し 2 月 29 日とします。この時追加される臨時の 1 日が閏日です。

ほぼ 4 年に 1 度、平年より 1 日長い閏年を

設ける理由は、季節の変化を生み出す地球からの見かけの太陽の位置変化が 1 巡する 1 年（太陽年）の長さを整数の日数の暦の 1 年で近似するためです。実際の太陽年の長さは 365.2422 日ですから、暦の 1 年を 365 日とすると端数の 0.2422 日分、実際の太陽年の方が暦の 1 年より長くなります。この差はわずかなようですが累積すれば 120 年で暦と季節の間に 1 ヶ月ほどのずれが生じてしまいます。だからといって日常生活に用いる暦の日数に端数を付けるわけにもいきません。そこで考えられたのが閏日の挿入による日数調整法でした。グレゴリオ暦では閏日を 400 年の間に 97 回挿入します。



図 1 トリエント公会議（ウィキペディアより）
1545～1563 年の間に断続的に行われた
カトリック教会の公会議。グレゴリオ暦
誕生のきっかけとなった会議です。

$400 \times 365.2422 = 146096.88 \div 400 = 365.2422$
このように 400 年間に 97 日の閏日を挿入すれば端数の付く太陽年の長さを整数の日数の暦年の組み合わせによって近似できます。その差は 400 年でわずか 0.12 日。なかなかの

精度です。こうして 400 年間に 97 日の閏日を挿入すればよいことはわかりましたが、ではどのように挿入すればよいでしょうか。暦において閏をどのように入れるか、差し引くかを定める規則のことを置閏法^{ちじゆんぽう}といいます。閏日は出来るだけ均等に入れるのが望ましいのですが、だからといって閏日の挿入方法が複雑であると扱いにくく、間違いの元になりかねないので、出来るだけ単純な方式が望ましい。こうしたことを考慮して考え出されたグレゴリオ暦の置閏法は次のとおりです。

- ① 西暦年が 4 の倍数の年を閏年とする。
- ② ①であっても西暦年が 100 の倍数の年は平年とする。
- ③ ②であっても西暦年が 400 の倍数の年は閏年とする。
- ④ 閏年には 2 月 28 日の後に 2 月 29 日を置く。

とてもシンプルで分かりやすい方法で比較的均等に 400 年間に 97 日の閏日を割り振ることが出来ます。暦は正確であることはもちろん必要ですが、日常生活を営む上でなくてはならないツールでもあるという側面もありますから、「分かり易さ」も重要です。グレゴリオ暦は正確さと分かり易さを両立させた、良い暦です。

さて、話は「コンピュータの西暦 2000 年問題」に戻ります。とても分かり易いグレゴリオ暦の置閏法ですが、これですらも記憶容量が極端に小さかった初期のコンピュータや、機械に組み込まれたマイクロコンピュータにとっては荷が重いものだったため、時として③の処理などが省略されていたものがあり、2000 年の 2 月と 3 月の間でそうしたコンピュータが日付けの誤変換を起こし、その影響で何か重大な障害が発生するのではと恐れられたのが「コンピュータの西暦 2000 年問題」でした。

幸いなことに、問題の日がやってくる前に様々な対策が施されたために、予想されたよ

うな大混乱は起きませんでした。ただこの騒動の中で驚いたこともありました。それはグレゴリオ暦の置閏法が正しくコンピュータに組み込まれなかった理由の一つに、プログラマが置閏法の②や③を知らなかったという例もあったということです。こんなに身近にあって、いつも使っている暦であっても、その仕組みについては正しく知らない人が案外いるのです。ちなみに問題の 2000 年は、①しか知らない場合でも閏年と判定されますから、結果的には正しい答えとなります。もしかしたら「コンピュータの西暦 2000 年問題」が大事にならなかったのは、こうした幸運な偶然のおかげなのかもしれません。

2 旧暦の 2033 年問題

「コンピュータの西暦 2000 年問題」で度々登場したグレゴリオ暦は、日本では 1873 年（明治 6 年）から使用されるようになりました。この時から新しく使われるようになった暦ということで、「新暦」とも呼ばれています。これに対してそれ以前に使われていた暦を「旧暦」と呼びます。「旧暦の 2033 年問題」は 1873 年の改暦以前に使われていた暦に関係する問題です。

「コンピュータの西暦 2000 年問題」が騒がれていたころ、暦に係る者たちの間では次に暦関係で騒ぎになるのは「旧暦の 2033 年問題」だろうと話し合われていました。その当時は 2033 年まで 30 年以上もあって、話していてもあまり現実味がありませんでしたが、2033 年まで 10 年と少しまで迫ってくると、そろそろ心配になってくる方も増えてきたようで、この問題について尋ねられることが多くなってきました。ただ、質問してくる方も 2033 年の旧暦の何が問題なのかは知らないということがほとんどのようです。

この問題は一言でいえば

「2033 年の旧暦の暦月の名前が決められない」

ということなのです。

暦月の名前が決まらないというのは新暦での生活に慣れた私達からすると不思議な話です。1月,2月,3月・・・11月,12月と順番に並べるだけで、問題が起こる余地も無さそうに思えます。しかし、旧暦では暦月の名前はそう単純には決まらないのです。2033年問題を正しく理解するためにはまず、旧暦とはどのような暦なのかを知っておく必要があります。

(1) 旧暦とは

国家的に採用が決定されている暦を別の暦に変えることを改暦といいます。改暦によって新しく使用されるようになった暦は新暦、以前に使われていた暦は旧暦と呼ばれ区別されます。日本では1873年に行われた天保壬寅元暦(以後「天保暦」)からグレゴリオ暦への改暦が最後ですから、天保暦が旧暦、グレゴリオ暦が新暦ということになります。皆さんは暦というと完成したカレンダーのようなものを思い浮かべるかもしれませんが、ここでいう暦は暦を作るために必要な暦法(天文定数、計算法、置閏法等)も含めたものです。

ただ一般に「旧暦」という場合は天保暦だけを指すのではなく、明治改暦以前に日本で使用されていた太陰太陽暦全般を漠然と指すことが多いようです(表1)。

(2) 旧暦の仕組み

日本に中国から本格的な暦が伝えられたのは7世紀後半といわれています。それから明治の改暦直前まで日本で使われた暦は全て太陰太陽暦と呼ばれる暦の一種です。太陰太陽暦の基本的な作りは

- ①暦月は新月(朔)を含む日に始まる。
- ②暦月名は暦月中に含まれる二十四節気の中気によって定められる。
- ③暦月中に中気を含まない月はうるうづきと、直前の暦月名に閏を付けて呼ぶ。

というものです。

①の新月(朔)から次の新月までの期間を朔望月さくぼうげつといいます。朔望月は平均29.53日(29.27~29.83日)です。旧暦の暦月は朔を含む日から次の朔を含む日の前日までなので暦月の日数は29日(小の月)か30日(大の月)のどちらかになります(朔の瞬間がある日の0~24時の間にあればそれがたとえ23時59分であっても、その日の始まりまでさかのぼって朔日となります)。暦の1年が必ずこの朔望月に基づく暦月12ヶ月の期間だとすると、1年の長さは353~355日となります。この日数は太陽年より約11日短く、このままでは3年でほぼ1ヶ月、季節と暦の日付けがずれてしまいます。この差を放置すれば16年で季節と暦の関係は夏冬が逆転するほど変わってしまいます。このような季節と連動しない暦では農作業の計画など立てられません。季節と暦のずれが大きくなるようにする仕組みが必要です。そこで考え出されたのが②の二十四節気(古くは「二十四気」)です。

暦法	施行年(西暦)	使用年数	編者	備考
元嘉暦	持統天皇六年 (692)	5年	何承天	平朔・恒気
儀鳳暦	文武天皇元年 (697)	67年	李淳風	定期・恒気
大衍暦	天平宝字八年 (764)	94年	一行	〃
五紀暦	天安二年 (858)	4年	郭献之	〃
宣明暦	貞観四年 (862)	823年	徐昂	〃
貞享暦	貞享二年 (1685)	70年	保井春海	〃
宝暦暦	宝暦五年 (1755)	43年	安倍泰邦他	〃
寛政暦	寛政十年 (1798)	46年	高橋至時他	〃
天保暦	弘化元年 (1844)	29年	渋川景佑他	定期・定気
グレゴリオ暦	明治六年 (1873)	147年~	アントニウス・リリウス他	太陽暦

表1 日本で使用された暦

日本で公式に使用された暦。元嘉暦~宣明暦までは、中国で作られた太陰太陽暦。貞享暦~天保暦は日本独自の太陰太陽暦。明治6年に太陽暦の一つであるグレゴリオ暦に改暦され、現在に至っています。

(3) 二十四節気とは

二十四節気は太陰太陽暦において暦の上の月日と季節を結びつけるために用いられるものです。太陽の動きに基づいて作られたもので、太陰太陽暦の太陽暦的な面を担っていま

す。二十四節気には節気と呼ばれるものと中気と呼ばれるものがそれぞれ 12 づつあり、これが交互に並んでいます(表 2)。太陰太陽暦の暦月名は基本的にこの二十四節気の中気によって決まります。表 2 で正月の中気は「雨水」となっています。これは「雨水」という中気を含む暦月を正月とするという意味です。以下同様で、「春分」を含めば二月、「穀雨」を含む暦月は三月となります。

二十四節気は太陽の位置に基づいて作られるものですが、その作り方には、恒気法(平気法、常気法ともいう)と定気法(実気法ともいう)の二種類があります。

恒気法は伝統的な二十四節気の作り方で、冬至から次の冬至までの間の 1 年間の日数を 24 等分し、この日数を積算してそれぞれの節気の始まりの日を冬至からの経過日数で定める方式です(表 2 「冬至からの日数」参照)。いわば時間によって分割した二十四節気です。

一方の定気法は太陽が一年をかけて移動する天球の黄道を角度によって分割した二十四節気です(表 2 「太陽黄経」参照)。黄道一周は 360 度ですから二十四節気の 1 つ 1 つの間隔は 15 度、中気と中気の間隔ならば 30 度ということになります(図 2)。太陽という天体の黄道上の位置によって二十四節気を決定する定気法は、より天文学的な手法で、西洋天文学の影響を受けて生まれた方式です。この方式を使用した太陰太陽暦の例は少なく、日本では最後の太陰太陽暦となった天保暦のみが採用しています(中国でも最後の太陰太陽暦となった「時憲暦」のみが採用しています)。

(4) 閏月

新暦と旧暦の最大の違いは 1 年の暦月数でしょう。新暦では 1 年は必ず 12 ヶ月ですが、旧暦では 1 年が 13 ヶ月の年があります。既に述べたように朔望月で区切られる暦月が基本となる旧暦では、12 ヶ月の日数は 353~355 日と 1 太陽年に比べ約 11 日短く、3 年が経過す

二十四節気

季節	月	節気	名称	恒気法	定気法
				冬至からの日数	太陽黄経(度)
春	正月	節	立春	45.66	315
		中	雨水	60.87	330
	二月	節	啓蟄	76.09	345
		中	春分	91.31	0
	三月	節	清明	106.53	15
		中	穀雨	121.75	30
夏	四月	節	立夏	136.97	45
		中	小満	152.18	60
	五月	節	芒種	167.40	75
		中	夏至	182.62	90
	六月	節	小暑	197.84	105
		中	大暑	213.06	120
秋	七月	節	立秋	228.28	135
		中	処暑	243.49	150
	八月	節	白露	258.71	165
		中	秋分	273.93	180
	九月	節	寒露	289.15	195
		中	霜降	304.37	210
冬	十月	節	立冬	319.59	225
		中	小雪	334.81	240
	十一月	節	大雪	350.02	255
		中	冬至	0.00	270
	十二月	節	小寒	15.22	285
		中	大寒	30.44	300

表 2 二十四節気

二十四節気は節気と中気が交互に並んでいます。二十四節気の節気は季節を表し、中気は暦月の名を定めます。二十四節気には、恒気法と定気法という二通りの作り方があります。

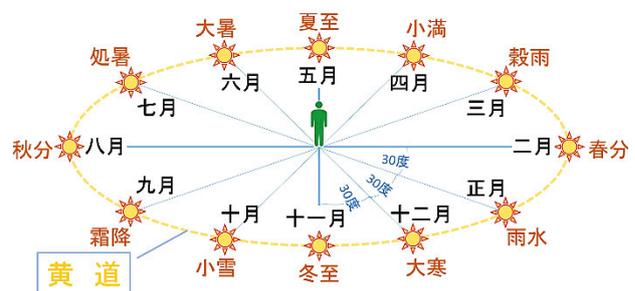


図 2 定気法による二十四節気の中気

定気法による二十四節気は黄道を黄経の角度によって 24 等分し、太陽中心が等分した点を通して瞬間から次の点を通してまでの間をその節気または中気の期間とします。旧暦の暦月名を定める中気と中気の間隔は 30 度です。

ればその差は約 33 日に達して 1 朔望月の長さよりも長くなってしまいます。この差を補うために挿入される月が閏月です。閏月が挿入された年は 1 年が 13 ヶ月となり、日数も 383~385 日と長くなります。新暦では平年と閏年の 1 年の日数の差は 1 日ですが、それに比べると旧暦の平年と閏年の日数差は大きなものとなってしまいます。挿入されるのが閏日ではなく、閏月ですからそれも仕方のないことですが。これほど平年と閏年の日数の異なる太陰太陽暦ですが、数年の日数を平均すると平均された 1 年の日数は太陽年の日数に近づいてゆきます。例としてメトン周期（中国の暦学では「章」）の名で知られる 19 太陽年の日数と 235 朔望月の日数がほぼ同じになるという関係から、太陰太陽暦の閏年がどれくらいあればよいかを考えてみましょう。

a. 19 太陽年の日数

$$= 365.2422 \times 19 \div 6939.60 \text{ (日)}$$

b. 235 平均朔望月の日数

$$= 29.53059 \times 19 \div 6939.69 \text{ (日)}$$

c. $235 = 19 \times 12 + 7 = (12 \times 12) + (13 \times 7)$

ご覧のとおり、19 太陽年と 235 朔望月の日数は 0.09 日（およそ 2 時間強）の差しかありません。また c の式を見れば、19 年の間に 12 回の平年と 7 回の閏年があれば、19 年 235 朔望月という関係を実現することができると解ります。ただし、これは基本的な原理を示したもので、a, b の数値にもわずかながら差がありますし、計算に用いたものは平均朔望月ですので、実際にはこの関係から外れる例もあります。

（5）旧暦の置閏法

太陰太陽暦において暦月をどこに挿入するか、その規則を定めたものが旧暦の置閏法です。大変古い時代には閏月は単純に年末に挿入するということがあったようですが、中国から日本に暦が伝来した頃には既に 2（2）③のように中気を含まない暦月を閏月とする

方式が定着しており、日本で独自の暦を作るようになった貞享暦以後も日本の太陰太陽暦はこの方式によって閏月を決定してきました。例として五月中気である夏至を含む暦月（五月）と六月中気である大暑を含む暦月（六月）の間に中気を含まない暦月がある場合を考えると、この月は閏月となり「閏五月」と呼ばれることとなります。

（5. 1）恒気法の二十四節気での置閏法

恒気法の二十四節気では中気と中気の間隔は 30.44 日です。この間隔は大の月の日数より長いので、暦月中に含まれる中気の数はず 1 ないしは 0 となります。その上、中気が 0 となる月は 33~34 ヶ月毎に現れるため 1 年の間に中気が 0 となる月が複数現れるようなこともありません。このため恒気法の二十四節気を用いる太陰太陽暦では 2（2）①~③の規則だけで暦月の名前を機械的に決定することが可能です。また、二十四節気の長さがどこでも同じであるため、閏月が特定の季節に偏るといった問題も発生しません。シンプルでありながらよく考えられた置閏法でした。

（5. 2）定気法の二十四節気での置閏法

江戸時代も半ばを過ぎたころから中国やオランダなどを経由して日本にも西洋天文学が伝えられるようになり、暦を作る人々（当時は幕府天文方）もこの影響を受けるようになりました。新しく緻密な西洋天文学の知識を身につけると、この知識を作暦に生かしてより正確な暦を作ろうと考えるのは当然です。その結果生まれたのが定気法による二十四節気で日本においては天保暦が唯一、この方式の二十四節気を採用しました。

定気法は太陽の位置計算を行い、計算結果から太陽の中心が黄道上の決まった黄経を通過する瞬間を求めて二十四節気の始まりとする方式です。作暦は天体の位置を正確に予測することが基本です。西洋天文学の流入によって、より正確な天体の位置計算法を知った

作暦者が定気法を採用しようと考えたのは無理からぬことです。しかし、この定気法による二十四節気の導入は、思わぬ問題を引き起こすことになりました。

暦月に名前を付ける基になる二十四節気の中気の間隔は、恒気法では全て 30.44 日でしたが、定気法では中気と中気の日数がところによって違います。定気法は黄道を角度によって分割する方式です。地球の公転軌道は円ではなく楕円なので、軌道上の地球の動き（地球から見た太陽の動きも同じ）は地球と太陽の距離が短い近日点付近では速く、距離が遠い遠日点付近では遅いため、中気と中気の日数は地球が近日点付近にある冬は短く（冬至～大寒 29.44 日）、遠日点付近にある夏は長く（夏至～大暑 31.46 日）なるという季節変化をするようになってしまいました。

3 暦月名決定の混乱と天保暦の置閏法

天保暦が二十四節気の計算に定気法を導入した結果、それまでの暦ではありえなかった問題が発生するようになりました。秋の終わりから春の始めの時期にあたる霜降、小雪、冬至、大寒、雨水の 5 つの中気から次の中気までの日数が大の月の日数である 30 日より短くなってしまったため、1 暦月の間に 2 つの中気が含まれる（大の月の月の始めと終わりに中気が入る）という現象が起こるようになったのです。それまでの暦では暦月中に含まれる中気は 1 つまたは 0 で、1 つであればその中気の示す暦月名となり、0 であれば閏月となりましたが 2 つの中気が含まれた場合にどちらを優先するかといった規則はありません。そうした事態が従来の暦では起こり得なかったわけですから当たり前の話です。

これだけでも大分頭の痛い問題ですが、追い打ちをかけるようにもう 1 つ問題が発生しました。1 暦月の間に 2 つの中気が含まれる

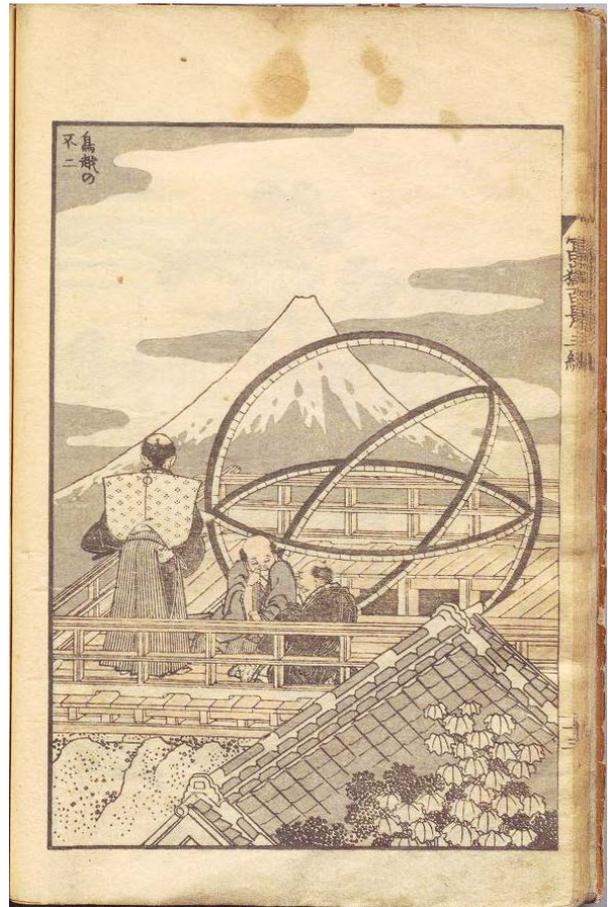


図3 『富獄百景』浅草鳥越の図
(国立国会図書館デジタルコレクションより)
貞享暦を作った保井(渋川)春海が築いたといわれる浅草天文台。

ような月が現れるとその前後に必ず中気を含まない月が複数現れるので、それらすべてを閏月にしてしまっただけでは本来の月名が不足してしまうのです。天保暦が定気法を導入したおかげで、それまで何の問題もなかった中気による暦月名決定のシステムが機能しない年が出現するようになりました。

(1) 天保暦での置閏法

天保暦は 1844～1872 年の 29 年間、日本の正式な暦として使われたものですが、わずか 29 年の間に、1851 年（～1852 年）と 1870 年（～1871 年）の 2 度、困った問題に直面しました。殊に 1851 年から翌年にかけての問題は複雑でした（表 3）。

グレゴリオ暦の日付けで 1851 年 11 月 23 日に始まる暦月に小雪（十月中）と冬至（十一月中）、1852 年 1 月 21 日に始まる暦月には大寒（十二月中）と雨水（正月中）の 2 つの中気が含まれており、従来方式ではこの 2 つの暦月の名前を決定することが出来ません。その上、この 2 暦月の前後に計 3 つの中気を含まない暦月が出来て、ここでも名前が決まりません。天保暦ではこのような問題を解決するため置閏法を次のように改めました。

①暦月は新月（朔）を含む日に始まる。

②暦月中冬至を含むものを 11 月、春分を含むものを 2 月、夏至を含むものを 5 月、秋分を含むものを 8 月とする。

③閏は中気を含まない暦月に置く。中気を含まない暦月が全て閏月とはならない。

②に登場する冬至、春分、夏至、秋分は にしにぶん と呼ばれる二十四節気の中でも特に重要とみなされるものなので二至二分が示す暦月名を優先的に付けようということです。③については 1851 年に見られるような短期間に複数の中気を含まない暦月が存在する場合の規則ですが、果たしてこれを規則と呼んでよいものか悩むような内容です。作暦者たちの苦労がしのばれます。

こうした苦労の結果の新しい置閏法を適用した 1851～1852 年の暦の一部を示します（表 3）。これを見るだけで、定気法の二十四

節気を導入したことによる暦月名の混乱は相当なものだということが解りますが、これよりも更にややこしいのが旧暦の 2033 年問題です。このややこしい問題については次回考えてみたいと思います。

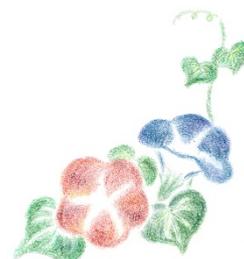
暦月の朔日の グレゴリオ暦年月日		大小	中気(月名)	天保暦		従来方式	
1851年	8月27日	小	秋分(8)	嘉永四年	八月	嘉永四年	八月
"	9月25日	大	霜降(9)	"	九月	"	九月
"	10月25日	小		"	十月	"	閏九月
"	11月23日	大	小雪(10), 冬至(11)	"	十一月	不明	不明
"	12月23日	小		"	十二月	不明	不明
1852年	1月21日	大	大寒(12), 雨水(正)	嘉永五年	正月	不明	不明
"	2月20日	大	春分(2)	"	二月	嘉永五年	二月
"	3月21日	小		"	閏二月	"	閏二月
"	4月19日	大	穀雨(3)	"	三月	"	三月
"	5月19日	大	小満(4)	"	四月	"	四月

表 3 天保暦による 1851～1852 年問題の解決

天保暦の新しい置閏法によってグレゴリオ暦の 1851 年 11 月 23 日から始まる暦月は 11 月となります。すると 9 月と 11 月の間には 1 暦月しかないのでこの月は 10 月となります。また、11 月と 2 月の間は 2 暦月なので 12 月と正月となります。2 月と 3 月の間の中気を含まない月が閏 2 月となります。従来の置閏法では 3 暦月分の月名が決定できません。

参考文献

- 1) 内田正男（編）：日本暦日原典　：雄山閣 1975
- 2) 内田正男：暦と時の事典　：雄山閣 1986
- 3) 広瀬秀雄：天文学史の試み　：誠文堂新光社 1981
- 4) 広瀬秀雄：日本史小百科 暦　：近藤出版社 1978
- 5) フリー百科事典ウィキペディア（日本）
- 6) 国立国会図書館デジタルコレクション



平成30年度 水路新技術講演会

— 講演内容 —

平成30年9月14日に開催された、第1回水路新技術講演会での講演内容を掲載致します。

第1回 水路新技術講演会

広島市：第六管区海上保安本部

海流観測の150年 ～ペリー艦隊のみた黒潮から現在まで～

講演者：東京大学大気海洋研究所

道 田 豊

平成29年度までの講演内容は「水路新技術講演集 第32巻」までをご覧ください。

お問い合わせは、(一財)日本水路協会 技術指導部までお願い致します。

TEL:03-5708-7076 E-mail:gi-jutsu@jha.jp

ペリー艦隊のみた黒潮から現在まで

東京大学大気海洋研究所 道田 豊

本稿は、2018年9月14日、広島市で開催された第六管区海上保安本部創設70周年記念講演会において、「海流観測の150年～ペリー艦隊のみた黒潮から現在まで～」と題して筆者が行った講演の内容をもとにしています。与えられた1時間の講演時間を使って、もちろん表題にあるペリー艦隊による観測レポートの話もしましたが、出身地である広島にまつわる話から東日本大震災の津波のこと、戦前から戦後にかけての水路部の海流観測の話題、さらには海流によって運ばれる漂流物や漂流予測の話まで、あれこれと雑談を連ねるような講演でした。聴いていただいた方々には「とても面白かったよ」と、ありがたい評価をいただき、それなりに楽しんでいただけた講演だったでしょうか(演者の見た限りでは、睡眠時間に充てていらっしゃる方はほぼいなかったように思います)とは思いますが、過去150年の海流観測の歴史を系統的に整理したとか、ペリー艦隊による黒潮の観測の状況について史料を深く分析したとか、そういったものにはなっていません。従って本稿は、例えば幕末の歴史研究の参考資料にするといった読み方には耐えられるものではありませんので、この点おことわり申し上げておきます。

1. はじめに

2018年は明治維新から150年にあたるということで、さまざまなイベント等が行われました。第六管区海上保安本部主催の講演会は「本部創設70周年記念」ということではありましたが、同時に「明治150年を念頭に置いたお話を」というご依頼でもありました。ペリー艦隊が日本にやってきたのは1853年

と54年ですから、165年前ということになります。

ペリー艦隊がその航海中に黒潮を観測していたことは、いろいろな文献に記載されています。音響ドップラー流速計や衛星測位装置のない時代ですから、どのくらいの精度で海流観測が行われたのか、どんな報告が行われたのか、再度みてみることにします。ペリー提督自身が観測したわけではなく、彼の日本遠征記の海流観測に関する記述はごくわずかです。詳しい報告は、サイラス・ベント大尉(Silas Bent, 1820-1887)が、1854年のペリー2度目の来航の際に琉球から江戸に向かう航路上の観測結果などについて、ペリー提督への報告という形で残しています。

明治4年(1872年)、兵部省海軍部に水路局が設置されて、わが国の水路業務が始まりました。その後海軍省水路局、同水路寮、海軍水路部と組織改編とともに業務が拡張されていきましたが、海流観測に組織的に乗り出すのはかなり時代を下って昭和になってからとなります。戦後の混乱期を経て、昭和30年代には、水深水温計(Bathythermograph: BT)や電磁海流計(Geomagnetic Electro-Kinetograph: GEK)といった新しい観測機器による近海の海流観測網が確立しました。平成の時代になり、水路部-海洋情報部の海流観測は縮小傾向にあると言わざるを得ません。それでも、関係官庁や研究機関による海流観測が行われていることで、日本近海は世界でも最も海流の観測データが充実した海域であり続けています。いつまでもそうであるとは限りませんが。

以下、本稿では、「海流観測」をキーワードとして、海上保安庁水路部(海洋情報部)の

活動を中心に、それぞれの時代を象徴するような話題をいくつか取り上げます。

2. サイラス・ベントのレポート

ペリー艦隊の日本遠征報告の原書第2巻に、ベント大尉による黒潮観測の報告が掲載されています (Bent, 1857)。本文8ページとグラフ13葉からなるレポートは、「KURO-SI. WO, OR GULF STREAM OF THE NORTH PACIFIC OCEAN」という表題です。表題の前には、「REPORT MADE TO COMMODORE M. C. PERRY」とつけられ、本文冒頭は「SIR: In obedience to your order,」で始まるなど、調査研究レポートというよりは、少なくともその体裁は上官であるペリー提督の指示に対する報告書という色彩の濃いものになっています。なお、遠征記全3巻の概要について、特に各巻に掲載されている図版類に関しては、中嶋(1988)による簡明な報告があります。

艦隊のいくつかの航路上で計測した、風、気圧、気温、水温と、一日ごとの船位から推定した海流がグラフで示され、若干の解説が加えられています。気象要素については、毎日6回(3、9、12、15、21、24時)計測したと書かれていますが、グラフには1日1つの値がプロットしてあります。海流の流速についてベントの記述によれば、毎日正午の位置をもとに計算(reckoning)で求めたとありますので、自律推測航法に基づく dead-reckoning による流速ということになります。また、江戸湾と下田滞在中の気象要素も記録されています。気圧の単位はインチ Hg (水銀柱の高さをインチで計測、1インチ Hg は約34hPaに相当)、気温と水温は華氏スケールです。

さて、本題の黒潮が最もよく示されているのは、1854年2月7日～13日、琉球から江戸湾に向かう「ミシシッピ」艦の航路上で気象や海流を観測した結果を記述した部分です(図1)。少し先行して、1854年1月30日

～2月11日に琉球から江戸湾に航海した「マケドニア」による気象海象要素も前者と同様のグラフに示されていますが、微妙に航路が違っていただけ、航跡上の流向等は異なっています。「ミシシッピ」によって観測された日々の流速を見ると、東経130度付近から江戸に向かって北東に取った針路上で、一部を除きやや北向き成分を持つ東向流として1日30海里という値となっています。おそらくはこの時の黒潮、少なくともその一部を捉えたものと考えられます。本文には、江戸に近い海域で最大1日80海里の流速と記述があります。日平均で1.3ノット、最大で3.3ノットということになり、黒潮の流速として妥当な計測値と言えます。また、この流れの北西側の境界では急に流速が大きくなる一方、南東側は空間変化が緩いといった記述もあり、現代の我々が観測事実として知っている流速分布と同様の空間分布が報告されています。

さらに、1854年6月26日～7月10日、下田から台湾の基隆までの「マケドニア」の航路上の気象要素等がグラフで示されています。この時、下田からいったんほぼ真南に針路を取っていますが、下田を出た直後に1日42海里、27海里の強い東向きの流れを観測し、その後小笠原西方から西に針路を変えて基隆に向かう途中、九州南方沖で再び1日32～40海里の強い北東流を見えています。これらも黒潮でしょう。

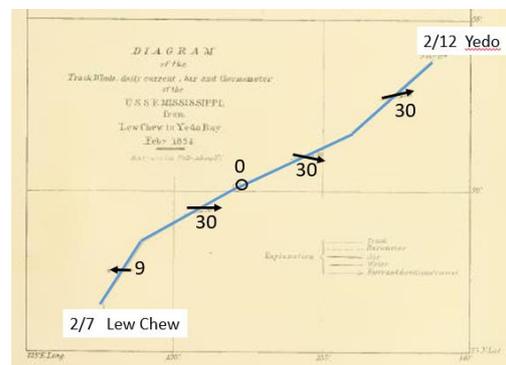


図1 サイラス・ベントによる報告 (Bent, 1857) の Plate V (「ミシシッピ」による琉球から江戸までの航海、1854年2月7日～12日) から航跡と海流の部分だけ抜き出し、見やすくするため航跡を太線、一日ごとの流向流速を矢印と数字で加筆した。流速の単位は海里/日。

ベントは観測結果を総合的にまとめたものとして、北太平洋全体の海流図を作成しています。日本近海の黒潮の部分だけ拡大してみたのが図2です。台湾東方から東シナ海を経由して本州南岸を北東に流れる「Kuro Siwo」が描かれています。図の中に、ところどころ「Cold Stream」と記載されているのがお判りでしょうか。艦隊の航路上で計測された水温に基づく記述と考えられます。「ミシシッピ」に先行して下田に向かった「マケドニア」の観測によれば、東経130~135度、北緯30度あたりで南向きの流れがあったことを踏まえると、確証はありませんが、ペリー艦隊遠征のこの時期は、黒潮が大蛇行流路を取っていたことが強く示唆されます。

本稿の主題ではありませんが、Perry 艦隊は、必ずしも反応が迅速とはいえない幕府の対応等を待つ間、ただ停泊していたわけではなさそうで、江戸湾南部の水深測量を行っています。現在は米軍及び海上自衛隊の管理下にある海域を含む横須賀湾の水深計測や磯子沖の測量を行ってシンプルながら海図を作成しています。横須賀沖地先海面を艦隊の旗艦にちなんで「サスケハナ湾」としたほか、猿島を「ペリー島」、夏島を「ウェブスター島」と命名しています。どのような意図があったか詳細不明ながら、米国として再訪あるいは頻繁に来訪する気満々であったことはうかがえます。

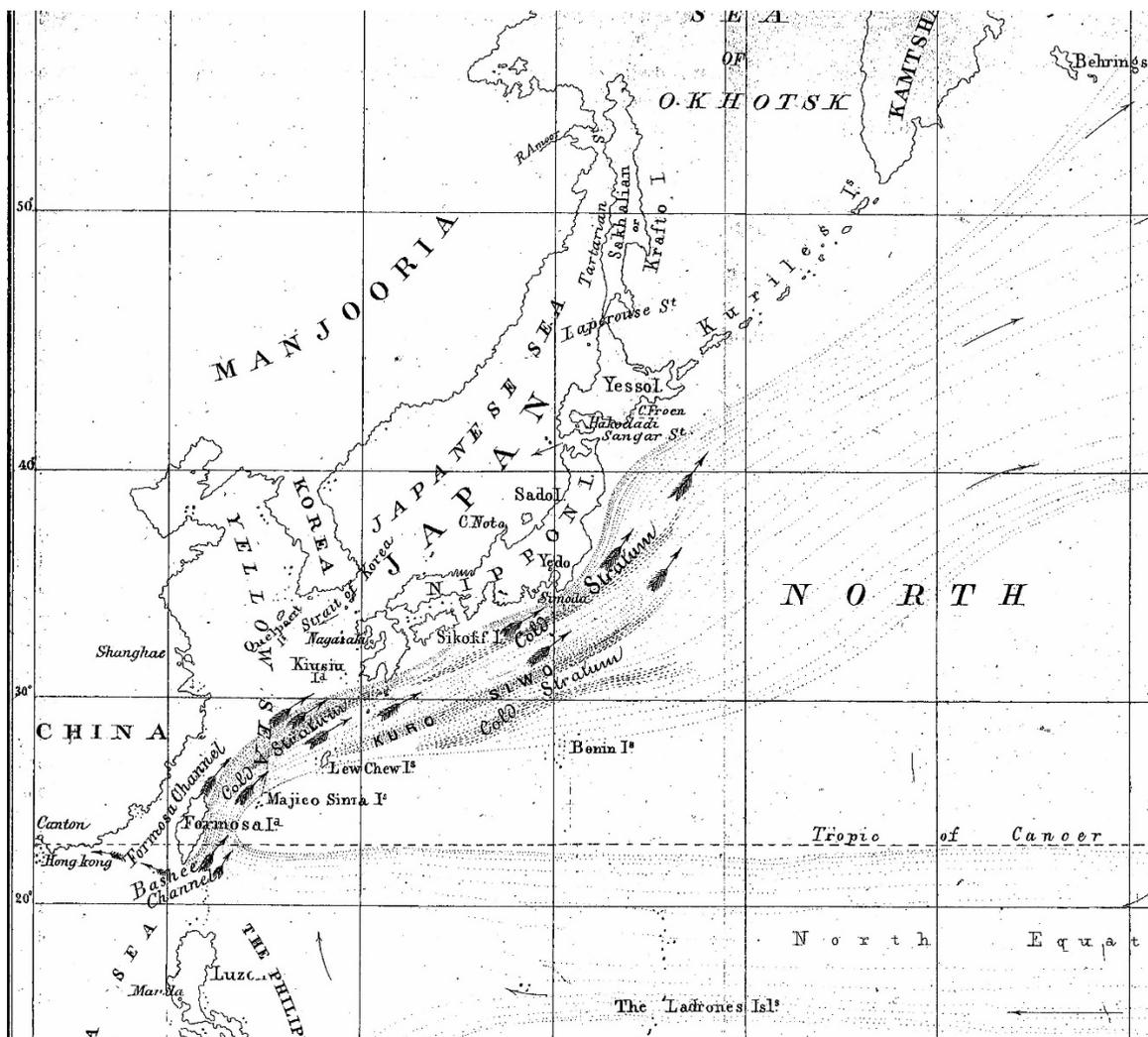


図2 サイラス・ベントによる北太平洋海流図から日本周辺海域を抜き出したもの。

3. 岸人三郎の海洋観測網デザイン

先に、水路部が組織的に海流観測をするのは昭和になってから、と書きましたが、海流など海象関係の調査を担当する部署としては、1909年(明治42)に当時の測量科の中に「気象調査掛」が置かれています。その後、1911年には測量艦「葛城」による浮標追跡調査が実施され、これが外洋の海洋観測のはじまりと言えるかもしれません。海運や防衛上の要請から徐々に海洋観測に対する必要性が高まる時代を迎え、1920年には神戸に「海洋气象台」が設置されて船舶向けの気象情報提供が開始されたのに続いて、1927年に観測船「春風丸」が建造されて気象機関による海洋観測が始まります。また、水産関係機関によって1910年代から漁業基本調査の一環として組織的な海洋観測が開始されました(宇田, 1978; 稲掛ら, 2013など)。この時期、水路部でも、1920年の組織改編により海洋気象を担当する第一課の設置、測量艦「松江」による小笠原～パラオ間で表層400mの各層観測の実施(1924年)、海流通報開始(1925年)と、ようやく海洋観測、海流観測が本格化し、これ以後関係機関の間で分掌していくこととなります。なお、1933年には、大正年代から昭和3年までの測量艦「満州」による観測結果を取りまとめて水路部報告第6巻として刊行されました。この報告では、1900年前後に確立された、水温塩分の観測から地衡流に伴う力学的海面高度偏差を求める「力学計算」の手法が全面的に採用されました。

このごろ、1931年の満州事変、1936年の二・二六事件に象徴されるように、時は暗い戦争の時代に入っていきます。そうした時代背景に基づく海象現象に対する関心の高まりもあったことでしょう。昭和10年代(1930年代後半)になると、水路部の海象関係組織が急速に拡充されました。1936年、水路部に第五課(海象担当)を新設し、初代課長に田代蘇平大佐をあて、総勢90名で構成されまし

た。部内関係者のみならず、囑託として松崎卓一、藤原咲平、大谷東平(それぞれ、後の水路部長、中央気象台長、気象研究所長)らを擁し、技術的にも研究面でも先端を担う意欲がうかがえます。同年9月には、連合艦隊の潮岬沖大演習の際、想定外の海流分布によって艦隊陣形形成に支障をきたす「事件」が発生しました。その後行われた測量艦「駒橋」による集中観測の結果、黒潮が大蛇行流路をとっていたことが判明しました。前年に起こった第四艦隊事件の経験もあいまって、気象海象観測の重要性が海軍内部で強く認識されたであろうことは想像に難くありません。

第二次世界大戦期間中の水路部の海洋観測を語る際必ず名前の挙がる人物が岸人大佐です。岸人大佐は1937年に水路部第五課長に就任し、ほどなく測量艦隊構想を提起しています。これは、800トン級10隻、200トン級6隻、30トン級25隻を整備して、一大海洋観測艦隊を作るという壮大な構想で、それまで少数の測量艦に捕鯨船その他の船を徴用することによって実施してきた日本周辺から北太平洋海域の海洋観測を継続的かつ網羅的に進めようとした。測量艦が何隻か整備された以外はこの構想は実現しませんでした。それでも1938年には岸人大佐の主導により「一斉海洋観測」が実施されています。岸人大佐の策定した海洋観測網が図3です。

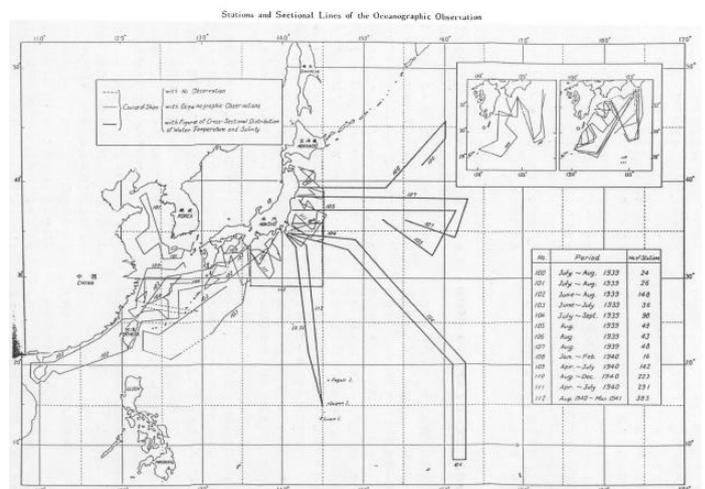


図3 1939～40年の海軍一斉海洋観測の観測線。

この時代の第五課員は193名を数えたとき、潮汐推算などの計算実務を担う要員が多数含まれていたとはいえ、今では考えられない大組織でした。その後さらに人員は増強され、1944年の定員は約500名と記録されています。当時の観測に基づく海流分布図の一例が図4です(杉山ら, 2004)。これによれば、1939年8月の時点で、黒潮は典型的な大蛇行流路となっています。1934年から1943年の間継続したと考えられている黒潮大蛇行をとらえたものです。この後、1943年以降は観測海域が北太平洋全域から徐々に日本近海に縮小されていき、戦局の推移とともに1944年以降はほとんど観測網の体をなさないところまで縮減となりました。

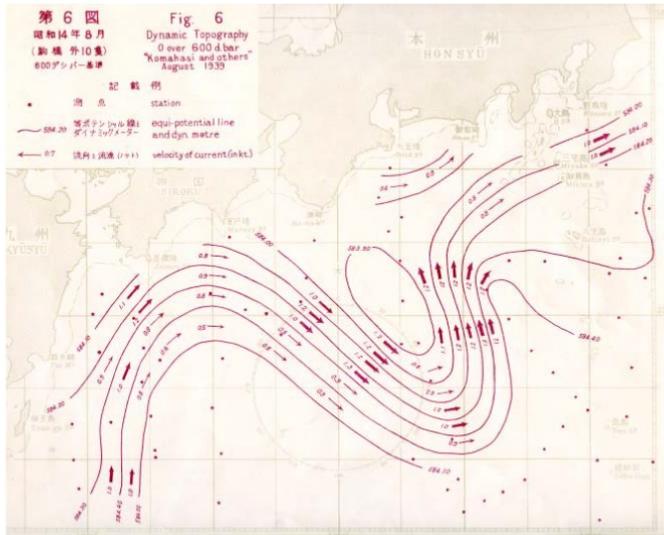


図4 1939年8月の日本近海海流図。測量艦「駒橋」ほか10隻による観測とある。600デシバール基準の力学計算に基づく海流図で、黒潮が典型的な大蛇行流路をとっていたことがわかる。

4. 定線海洋観測の時代

戦後の混乱を経て、1946年に第四海洋丸によって海洋観測が再開されました。以後、水路部は着実に海洋観測の充実を図っていきます。1953年、水深水温計(Bathymograph: BT)を導入して、海洋表層の水温鉛直分布観測を大幅に効率化しました。海流については1950年、海流に伴って海水が地球磁場を横切

ることに起因する起電力を測定して海流を図る仕組みを米国が確立し、湾流の調査において画期的成果を得ました。電磁海流計(Geomagnetic Electro-Kinetograph: GEK)です。日本では、理化学研究所の応用物理学者、黒田正夫博士が中心となって国産GEKを開発し(黒田・沢柳, 1954)、水路部はこれを即座に導入しました。BTとGEKの実用化により海流観測が大幅に効率化されたことを受け、1950年代後半には両測器を中心的な観測装置とする定線海洋観測網が確立しました(図5)。

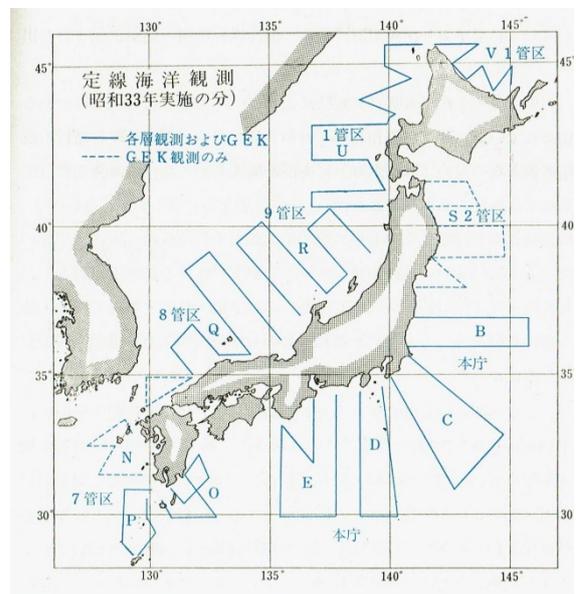


図5 昭和33年(1958年)の水路部による定線観測線。本庁といくつかの管区で分担していた。この時期、まだ第十管区、第十一管区はなく、九州南方は第七管区の管轄になっている。

その後も、航空放射温度測定装置(Airborne Radiation Thermometer: ART)の導入(1964年)、投下式水深水温計(eXpendable Bathymograph: XBT)の使用開始(1974年)、衛星追跡海流計測ブイ(アルゴスブイ)の導入(1980年)、船舶搭載型音響ドップラ一流速計(Acoustic Doppler Current Profiler: ADCP)および水温塩分深度計測装置(Conductivity Temperature Depth Profiler: CTD)の使用開始(1983年)と、最新鋭の海洋観測機器やシステムをいち早く

観測業務に導入してきました。研究観測で広く用いられる観測機器であっても、定常観測業務に導入するとなると少し次元の異なる仕組みづくりを必要とします。その意味で、水路部はわが国の海流観測のトップランナーであったことは間違いないと思われます。

研究面でも海洋観測における貢献は大きく、例えば地球観測年（International Geophysical Year: IGY, 1957-58）では、1958年7月、測量船「拓洋」による赤道海域一斉観測が行われました。この時、マリアナ西方海域において観測中の「拓洋」船上で高い放射能を計測するという事案がありました。7月12日にビキニ環礁で行われた米国による核実験の影響を捉えたものと推定されましたが、幸い、二谷頼男博士をはじめ乗員に健康影響は認められませんでした。今となっては時代を感じさせることとして記憶されています。その後も、1960-70年代のユネスコ政府間海洋学委員会（Intergovernmental Oceanographic Commission: IOC）が主導する国際黒潮共同調査（Cooperative Study of the Kuroshio and adjacent regions: CSK）、1980-90年代の日中黒潮共同調査研究（Japan-China Joint Research on the Kuroshio: JRK）、1990-2000年代の世界海洋循環実験（World Ocean Circulation Experiment: WOCE）などに中核研究機関の一つとして参画しています。このうち、WOCEでは、1993年に東京からハワイを経由して北米のサンディエゴに至る、北緯30度線に沿った太平洋横断観測が測量船「昭洋」（先代）で実施されました。この観測の際、筆者はちょうど米国スクリップス海洋研究所の長期在外研究員として1年間の予定でサンディエゴに滞在中でした。1993年11月27日、太平洋横断観測を終えた「昭洋」が秋晴れのサンディエゴ港に入港する際、一緒に滞米中だった家族とともに日米両国旗を携えてお迎えしたことが懐かしく思い出されます。

時代を少し遡った1952年、サンフランシスコ講和条約が発効し、日本が第二次世界大戦後の国際社会への復帰を果たしたこの年、英国の海洋調査船「チャレンジャー8世」が前年に続いて2月、日本に寄港し、同船の士官や乗船研究者が水路部を表敬訪問しています。その時の記念写真を見ると、須田水路部長以下水路部各課長のほか、日高孝次、宇田道隆、佐々木忠義、新野弘といった当時の海洋学界を代表する研究者の顔が見えます（写真1）。写真には田山・測量課長、中宮・海象課長も写っていますが、残念ながらお二人はこの写真から約半年後の同年9月、明神礁で遭難した「第五海洋丸」で殉職しています。



写真1 1952年2月、英国の調査船「チャレンジャー8世」が東京に寄港し、水路部を表敬訪問した際の記念写真。（前列左から）佐々木忠義、井本監理課長、日高孝次、英研究者、Ashton 艦長、須田水路部長、英士官2人、宇田道隆、新野弘（後列左から）苛原官、中宮海象課長、塚本編暦課長、田山測量課長、佐藤印刷課長、松崎図誌課長、平川官、萩原官。中宮、田山両課長は同年9月、明神礁で殉職。

1953年には、米国スクリップス海洋研究所の研究船「ベアード号」と水路部の第四海洋丸による連携共同観測が行われました。この時「ベアード号」の首席科学者はW. Wooster博士（後に、IOCの初代事務局長、PICES初代議長）でした。この航海は、ペリー提督浦賀来航100周年と銘打って実現に至ったもので、戦後初めて日本を訪問した米国の調査船ということになります（中陣, 2014）。

時代を少し下って1969年、わが国海洋学界に再びペリー艦隊に縁のことがありました。この年、米国調査船1隻と米海軍の測量艦1

隻が日本南方海域において地殻熱流量の観測を行っています(図6)。そのうち海軍所属の1隻が「サイラス・ベント号」でした。ペリー艦隊において気象海象観測を行って報告をまとめたサイラス・ベントにちなんで命名された船です。この航海には、日本から中陣隆夫氏(当時、東海大学海洋学部学生)と長坂昂一氏(当時舞鶴海洋气象台、後の気象庁長官)が乗船していました。中陣氏は、「サイラス・ベント号」の前に、調査船「ハント号」にも乗船されており、両航海あわせて50日間を米国の船上で過ごされました。ちなみに「ハント号」には、日本から安井正氏(当時舞鶴海洋气象台海洋課長、後の気象庁海洋気象部長)も乗船されていました。この時の2隻の航海の様子は、中陣(2007)に詳しく述べられています。

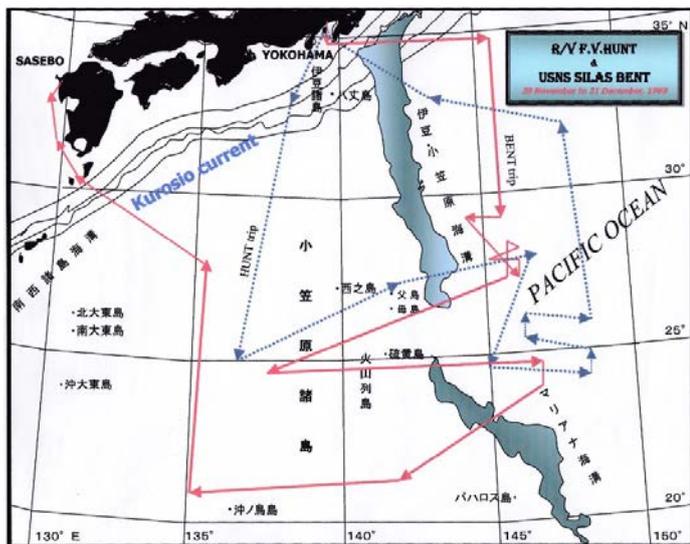


図6 1969年10~12月、米国調査船による日本南方海域における地殻熱流量計測航海の航跡。中陣(2007)に掲載された図の元図版について、写しを中陣隆夫氏から提供を受けたもの。

5. 今後の展望

2000年代に入って、日本周辺海域の海洋観測網は長期縮小傾向にあります。船舶による観測が特にそうです。もちろん、船舶観測に代わる新技術として、衛星リモートセンシングや、海面から深度2,000m程度までの水温塩分分布を計測する自動昇降式のフロート

(アルゴフロート)の全球展開などが進められました。アルゴフロートはこれまで船舶による観測機会が相対的に少なかった海域も含めて、時空間的に密な水温塩分計測ができるため、極めてパワフルな観測手段であることは疑いのないところです。最近では、自動昇降するという機能を活用して、水温塩分以外のパラメータの計測に拡充する方向が打ち出され、成熟したセンサーがすでにある計測項目については大きな力を発揮していくものと思われます。ただ、多くの生物化学的成分などの計測は難しいので、船舶による観測が引き続き重要な役割を担うべき状況に変わりはありません。

海上保安庁海洋情報部では、管轄海域における海洋情報収集強化の文脈で測量船等装備が充実強化される方向にあるようですが、海象系の観測については必ずしもそうではないようにも思われます。関係機関においても、気象庁では観測船を減船し海洋气象台の機能を各地域の地方气象台に吸収させましたし、仄聞するに水産関係機関による海況モニタリングも厳しい環境にあるということです。

前節で述べたように、水路部(海洋情報部)は海象観測において新技術を業務導入することに関してパイオニア的役割を果たしてきたと言えます。諸事情きびしい中であるとはいえ、2000年代の海洋短波レーダーの導入、ここ数年の自立型海洋観測機(Autonomous Ocean Vehicle: AOV)の展開など、進取の精神は健在のように見受けられますので、ぜひ海象観測の一層の充実を目指していただきたいと思います。新技術の導入等を適切に進めるためには、業務ニーズの把握に加えて科学研究の先端動向に関するアンテナも必要ですので、海洋に関する学会や関係研究コミュニティとの連携を維持、強化していただくのがよいと思料します。一研究者、また一人のOBとして、海洋情報部による海象観測の充実に向けたエールをお送りして本稿を結ぶこととします。

謝辞

記念講演にあたって、第六管区海上保安本部関係各位および日本水路協会の皆様にお世話になりました。記して深く謝意を表します。また、講演及び本稿の執筆にあたり、図版の利用について便宜を図っていただきました中陣隆夫氏に御礼申し上げます。

参考文献

- 1) Bent, S. : Report to Commodore M. C. Perry upon Kuro-Siwo, or Gulf Stream of the North Pacific Ocean, Japan Expedition by Com. M. C. Perry, Navy Department, Vol. 2, 363-370, 1857.
- 2) 稻掛伝三・鈴木秀彌・友定彰: 異常冷水と定線観測, 水産海洋研究, 77, 32-38, 2013.
- 3) 黒田正夫・沢柳文夫: 電磁式自記海流計について, 水路要報, 増刊 14, 1-16, 1954.
- 4) 中嶋暉: 「Perry 提督日本遠征記」について, 水路部技報, 8, 135-147, 1988.
- 5) 中陣隆夫: 地球の体温をはかる, 丸源書店, 226pp, 2007.
- 6) 中陣隆夫: S. F. ベアード号の太平洋横断探検航海 (1953), 季刊水路, 169, 14-25, 2014.
- 7) 日本水路協会: 日本水路史, 680pp, 1971.
- 8) 杉山栄彦・手登根功・豊嶋茂: 海軍水路部における海洋観測と当時の日本南岸域の海況について, 海洋情報部技報, 22, 63-68, 2004.
- 9) 宇田道隆: 海洋研究発達史, 東海大学出版会, 海洋科学基礎講座, 補巻, 331pp, 1978.



平成 30 年度 水路技術奨励賞（第 33 回）

－業績紹介－

去る平成 30 年 12 月 20 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 189 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、全容をご紹介しますことができません。

1. 「電子海図表示を用いた船舶運航支援装置の開発」

受賞者：日本無線株式会社	情報ビジネス技術部	榎戸 達也
同		西山 尚材
同	マリンシステム営業部	矢島 亮

2. 「電動式スルースゲート津波造波装置（段波装置）の開発」

受賞者：東亜建設工業株式会社	技術研究開発センター 水圏技術グループリーダー	武田 将英
----------------	-------------------------	-------

3. 「水路測量計画支援装置 OHTI-YS-SUPPORTの開発」

受賞者：株式会社海洋先端技術研究所	情報開発課 課長	余野 央行
-------------------	----------	-------

4. 「マルチビームソナー「DFE-3D」の開発」

受賞者：古野電気株式会社	技術研究所研究部市場開発推進室 主任研究員	山口 武治
同	舶用機器事業部開発部 音響機器開発課主任	道上 法正

1. 電子海図表示を用いた船舶運航支援装置 (J-Marine NeCST) の開発

日本無線株式会社

情報ビジネス技術部

榎戸 達也

西山 尚材

マリンシステム営業部

矢島 亮

1. はじめに

航海手段として長年利用されてきた紙海図は、直感的な使い勝手や船員が囲んでブリーフィングを行えるなどのメリットがあるが、定期的なメンテナンスの必要性や書き込んだ情報を航海の度に消さなければならないなど非効率な面がある。

一方、新たな航海手段として規格で定められたECDIS (Electronic Chart Display and Information System) は、海図メンテナンスの簡略化や、情報のデジタル化により再利用が可能となるなど利便性が向上したが、紙海図の様に関係者が集まってブリーフィングをする用途に向かないことや、高機能が故に操作が複雑になり、操作するためには機種に特化したTST (Type Specific ECDIS training) 受講の制約が課されるなど、船員や船会社からは改善の声が挙がっている。さらに、ECDISを始めとした航海機器では、スマートフォンやタブレット端末、パソコンなどで広く普及しているタッチパネルが積極的に採用されていない。単純にECDISのUI (User Interface) をそのままに、大型タッチパネルディスプレイを活用するだけでは直感的に使用可能なUX (User Experience) が伴わず、紙海図同等の利便性を実現するのは難しいと考えられる。

また、航海機器としてはECDISの他にGPSやレーダー、VDR (Voyage Data Recorder) など多様な機器が船舶に搭載されており、こ

れらの機器はネットワークで接続され船内ネットワークに流れるデータが増えている。さらに、船舶に搭載される衛星通信システムも大容量定額化の流れであることから、船内でクローズされていたデータをシームレスに陸上に転送することは、陸上からのサポートによる安全安心な航海に寄与するだけでなく、遠隔操船や自律運航への基礎となることが見込まれる。

当社ではこれらの現状を鑑み、紙海図とECDISの利便性を合わせ持つと共に、各種航海機器との連携や、陸上と情報共有が可能な運航支援装置J-Marine NeCST (以下、NeCSTと呼ぶ)を開発した(図1、図2)。



図1 J-Marine NeCST



図2 NeCSTを囲んでのブリーフィング

2. 装置概要

当社の開発した NeCST は、大型タッチパネルディスプレイと PC を組合せた構成に、専用ソフトウェアを搭載した装置である。

本装置では、電子海図 (ENC : Electronic Navigational Chart) 表示に対応し、タッチパネルディスプレイに表示された電子海図上をタップするだけで容易に航路を作成したり、手書き入力によるユーザーチャート作成を実現した。また、各種船内作業を予めテンプレートとして準備し、付箋紙のように航路に配置することで、航海業務の効率化も追求した。さらに、スマートフォンなどで撮影した写真を取り込み、写真の位置情報に紐付けることで電子海図上への表示を実現したことや、連続写真を並べて表示することであたかも実際の航路を進んでいる様な事前にシミュレーションできる機能も実装した。これらの航海計画や写真などは、衛星通信などのインターネット経由で J-Marine Cloud (クラウドサーバ) に蓄積され、陸上や僚船での利用を想定し、これまで困難だった航海に関する情報の再利用が容易になり、航海作業の負荷軽減に寄与することが可能となる (図3、4)。



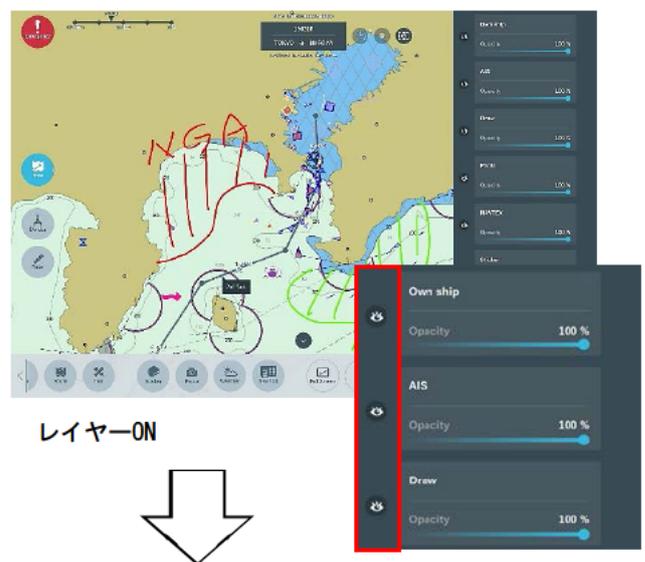
図3 NeCSTの運用画面



図4 JRCの考える情報共有イメージ

3. 情報の重畳

地図上に情報を表示する方法としては、各種情報をレイヤー状に重ねて表示することが可能なGIS(Geographic Information System)方式が一般的である。NeCSTにおいても機能のベースにGIS方式を採用しており、電子海図や自船、航路、手書きなどの様々な情報を同時に描画することを可能とした(図5)。さらに、各種情報の表示順の入替や透過率などを自由に設定できるため、ユーザー好みの表示へとカスタマイズする事も可能である。



レイヤーOFF

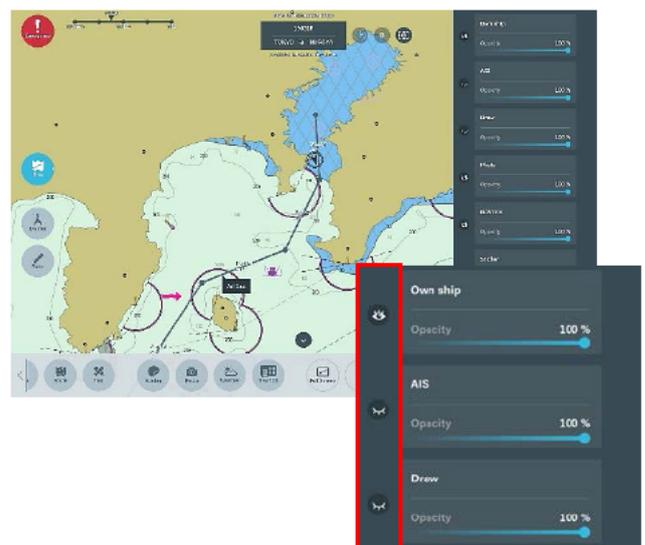


図5 表示レイヤー選択イメージ

4. 直感的なユーザーインターフェース (UI)

従来の船用機器は多機能化が進み、ユーザーの利便性を追求するため使用頻度の少ない機能はメニューの深い階層から呼び出すようにしていることが多い。この場合、ユーザーは当該機能を呼び出すために取扱説明書を見ながら操作することになり、操作に時間を要することになる。

一方、スマートフォンやタブレット端末などの民生品では、取扱説明書を見ながら操作するケースは殆どなく、直感的で操作ステップを最小限にした理想的な UI となっていると考えられる。

本開発では、このような民生品における直感的な操作性を持ち合わせた UI を追求し、以下の工夫を盛り込んだ (図 6)。

- 1) 要望された機能を厳選し、必要と思われる機能に限定してスリム化を図った。
- 2) メニュー階層はグルーピングして2段階までとし、各メニュー選択時の挙動も揃えることでユーザーに迷わせることがないよう設計した。
- 3) それぞれのアイコンはメニュー概念を具象化することにより、一目でどの様な機能かを認識できるよう工夫した。
- 4) 採用したタッチパネルディスプレイに搭載されるパームリジェクション機能により、タッチ感度を調整することで、タッチの誤判定を軽減させた。



図 6 直感的な操作画面イメージ

5. 各関連機器との連携

昨今、船内のネットワーク化が進んでおり、Navigation 系の情報は VDR へ集約されている。また、陸上サービスと連携したウェザールーティングなどの最適航路情報提供サービスの導入も進んでいる。

NeCST は、これら様々な船用機器とネットワークを介して連携する事により、以下のソリューションを提供する。

- 1) 本船の位置や方位、針路などの情報や本船周辺の他船情報を取得するため、VDR 経由で GPS や AIS 等の各種センサー情報をネットワーク経由で取得した。
- 2) 過去に ECDIS で作成した情報を NeCST で使用したいといったニーズに対応するために、ECDIS との間で航路とユーザーチャートを簡単に共有する仕組みを実現した。
- 3) 航海計画立案や実際の航行には気象海象情報は非常に重要であり、気象会社が提供している情報サービスを導入しているケースが増えている。これらのサービスから取得した情報を NeCST に重畳表示するため、複数の気象海象情報サービスと連携した (図 7)。
- 4) インマルサット GX や FX、FB、VSAT などの衛星通信システム (インターネット) 経由で J-Marine Cloud へ情報を蓄積することで、本船上で作成した航路やユーザーチャートを陸上の運航管理会社や船会社と共有し、予定航路の確認や安全性の確認が行えるようにした。

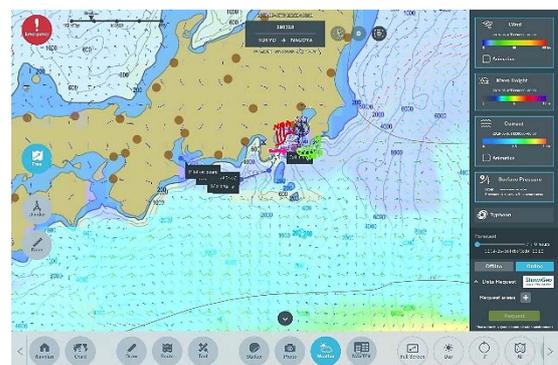


図 7 気象海象情報の重畳イメージ

6. 緊急情報の船陸間連携

NeCST では、緊急事態には陸上側の運航管理会社や船会社といち早く情報を共有するための機能を搭載した。本船と陸上で共有された図面やチェックリスト、チャット機能により、コンティンジェンシプラン（緊急時対応計画）立案等、迅速な意思決定をサポートする Emergency 機能を搭載する（図8）。

更に、カスタマイズ性を追求するため以下の拡張方針を採用した。

- 3) 本船のデータを集めることで、J-Marine Cloud から運航管理者向けの様々なサービスコンテンツ（SSV：Smart Ship Viewer）を提供可能とする（図9、表1）。

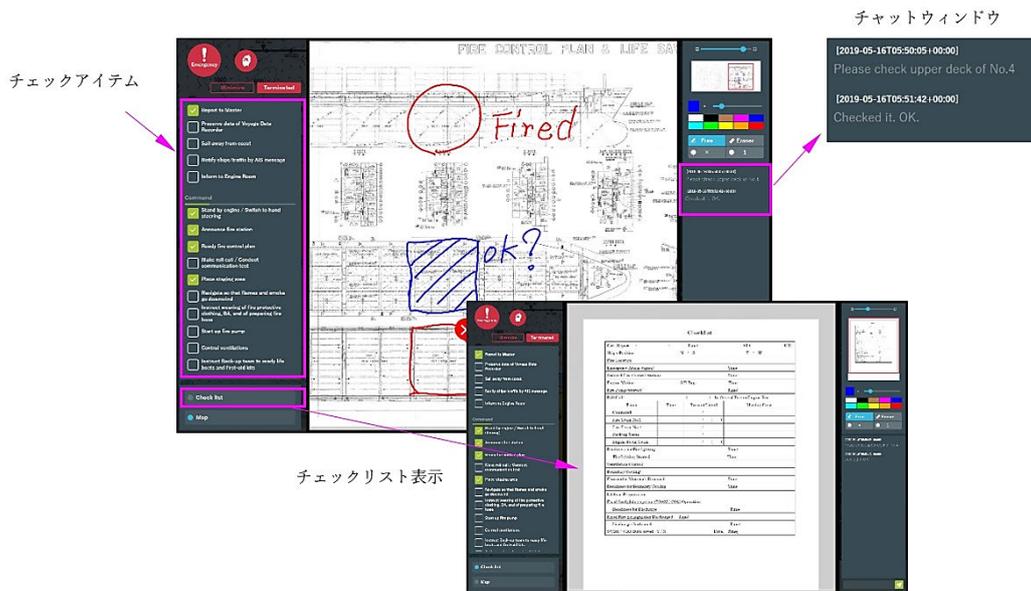


図8 Emergency 機能

7. カスタマイズ性の追求

NeCST は規格にとらわれず、柔軟にカスタマイズ対応（ユーザーの声を取り入れる）できるように船舶搭載要件の対象となる検定を取得していない。これは、例えば、ECDIS 検定を取得した場合にはユーザーにとって導入し易くなるが、カスタマイズの度に再検定コストが必要となる課題に有利と考えられる。

また、カスタマイズ性を高めるため以下の設計方針を採用した。

- 1) アプリケーション追加やシステムアップなどにも柔軟に対応するため市販PCを採用する。
- 2) 容易なソフトウェアアップデートを実現するソフトウェア構造とする。

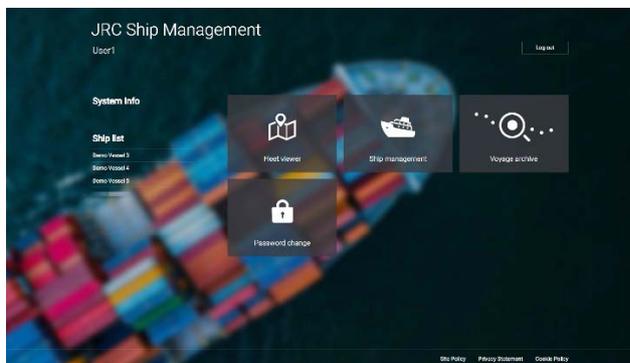


図9 運航管理者向け情報サービスページ

表1 運航管理者向けサービスコンテンツ

項目	内容
本船位置表示	地図上に管理船の位置を表示
航海情報表示	管理船のセンサー情報や計画航路、ユーザーチャート等を表示
気象海象情報表示	地図に気象情報を重畳表示
ベース地図表示	C-MAP が使用可能
管理船表示	管理船の一括表示
AIS データ表示	管理船周辺の AIS データ表示

8. おわりに

紙海図に慣れ親しんだユーザーはもちろんのこと、初めて操作するユーザーにも分かりやすい操作性により、船員の作業負荷軽減に大いに貢献することが期待できる運航支援装置 J-Marine NeCST を開発した。NeCST は、GIS 方式を採用することで紙海図の利便性を継承しつつも情報の重畳・選択を容易にし、気象海象情報サービスを始めとした各種システムとの連携が可能であり、ユーザーに対し適切な情報提供を実現する。また、デジタル化された情報を蓄積し関連機器や船陸相互のみならず、僚船間でやりとりすることが可能であることから、迅速かつ正確な情報提供や集積を実現し、個船毎に蓄積された情報を共有する船上の中核的な役割を担うことが期待される。

最後に、本開発を進めるにあたり日本郵船株式会社、および株式会社 MTI の方々には、多大なるご支援、ご援助を賜りました。深く感謝いたします。

用語一覧

- ・ NeCST: Navigational electronic Conning Station Table (運航支援装置)
- ・ J-Marine Cloud: (JRC が提供する海洋情報クラウドサービスの総称)
- ・ SSV: Smart Ship Viewer (運航管理者向け情報サービス)
- ・ GIS: Geographic Information System (地理情報システム)
- ・ UI: User Interface (ユーザーインターフェース)
- ・ UX: User Experience (ユーザーエクスペリエンス)
- ・ ECDIS: Electronic Chart Display and Information System (電子海図情報表示装置)
- ・ VDR: Voyage Data Recorder (航海データ記録装置)
- ・ GX: Global Xpress (グローバルエクスプレス)
- ・ FX: Fleet Xpress (フリートエクスプレス)
- ・ FB: Fleet Broad Band (フリートブロードバンド)
- ・ VSAT: Very Small Aperture Terminal
- ・ ENC: Electronic Navigational Chart (航海用電子海図)
- ・ C-MAP: (C-MAP 社独自フォーマットのベクトル形式電子海図)

2. 電動式スルースゲート津波造波装置（段波装置）の開発

東亜建設工業株式会社

技術研究開発センター 水圏技術グループ リーダー

武田 将英

1. はじめに

ご存知の通り、「津波」とは、津（港）や海岸を急に襲う大波のことを言う。日本における津波は、海底下の大きな地震によって発生することが多い（他に、火山噴火、沿岸や海底の地すべり、冰山崩落、隕石衝突によっても発生する）。海底下の地震によって、海底上にある海水の塊が持ち上げられたり引き下げられたりすることによって海水面が変形し、それが波紋のように四方八方に伝わることによって津波となる。沖で発生した津波は、陸地に近くなり水深が浅くなってくると、徐々に波高が大きくなり、「段波（だんぱ）」と呼ばれる切り立った水の壁が進行する形の波になる。水位の高さが異なる不連続の段差が生じ、段の低い側へなだれ込むようにして水が押し寄せる。この水が構造物に衝突するときの力（衝撃段波波圧）はとても大きく、沿岸構造物の破壊を引き起こす場合がある。構造物の衝突後も、津波は水位の高い流れが継続して陸地に押し寄せ、人を巻き込みあるいは

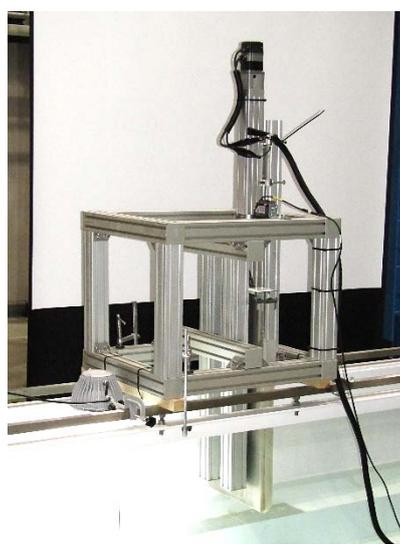
周囲の物を破壊しながら陸地の奥深くへと一気に進む。さらに、津波は引く時にも強い流れとなり、人や漂流物を海中へ引きずり込む。

2011年に発生した東日本大震災の巨大津波では、先に述べた段波に加え、想定外の高さの津波によって、防波堤や防潮堤を長時間越流する状況が観察された。そして、越流した水の勢いによって、構造物前面や背面のマウンド（基礎となる大きな石）が局所的に掘られ、足元がなくなった防波堤や防潮堤が数多く倒れた。このような構造物の被災形態は、これまで構造物の設計では想定されておらず、新たに水理模型実験による再現と、数値シミュレーション技術や津波対策工の開発を行うことが求められた。

その中でも、水理模型実験では、津波が陸地に向かって押し寄せるときの段波（波状段波、砕波段波）や段波に続く周期の長い不規則な水面の上昇と下降を含んだ複雑な波形を持つ津波（任意津波）の造波を行うための技術開発が求められた。



(a) 大型水路用



(b) 小型水路用

図1 電動式スルースゲート津波造波装置（段波装置）

そこで、我々は、既設の実験水路に設置可能で、任意津波を造波することができる図1に示す「電動式スルースゲート津波造波装置（段波装置）」の開発を行った。この段波装置は、当社保有の大型造波水路（長さ60m×幅1.0m×深さ2.0m）と小型造波水路（長さ30m×幅0.3m×深さ0.6m）の2つの水路用にそれぞれ用意されている。

2. 段波装置の任意津波造波方法

当社の大型造波水路における段波装置を用いた津波実験水路の概要を図2に示す。任意津波の実験の時に限り、水槽の任意の位置（この例では左端から12mの電動ゲートの位置）に、段波装置を設置する。この大型造波水路（図3左）は、左端にピストン型の造波板が付いており、段波装置を設置しないときは、最大波高0.6mの通常波や、孤立波と呼ばれ

るシンプルな津波を発生することができる。また、水路は、地下に設置している大型循環ポンプ（図3右）と配管で接続されており、最大流量10m³/分（水深0.5mで流速0.33m/s）の順流（沖→岸）、逆流（岸→沖）、往復流（岸⇄沖）といった流れを有する津波を発生させることができる。しかし、これらの装置は独立しており、段波とそれに続く周期の長い水位変動の連続した任意津波を造波することはできない。

そこで、我々は、図1(a)に示す段波装置と図3右の大型循環ポンプを連動させることによって、任意津波の造波を行うことを目指した。段波装置は、任意津波の造波のために新しく開発したもので、図1のように、造波水路の上から差し込むことで、もぐり堰（スルースゲート）型の電動ゲートになる。この電動ゲートは、段波装置上部に取り付けられた

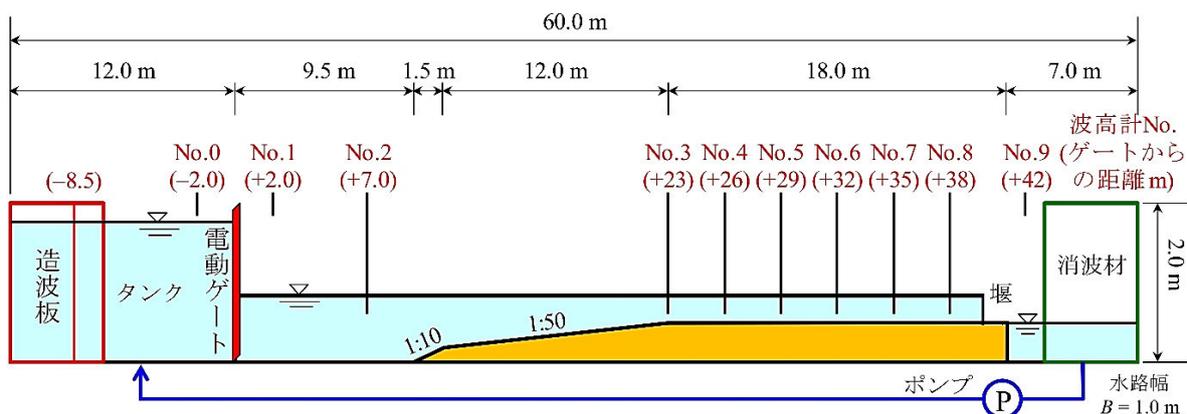


図2 大型造波水路における段波装置を用いた津波実験水路

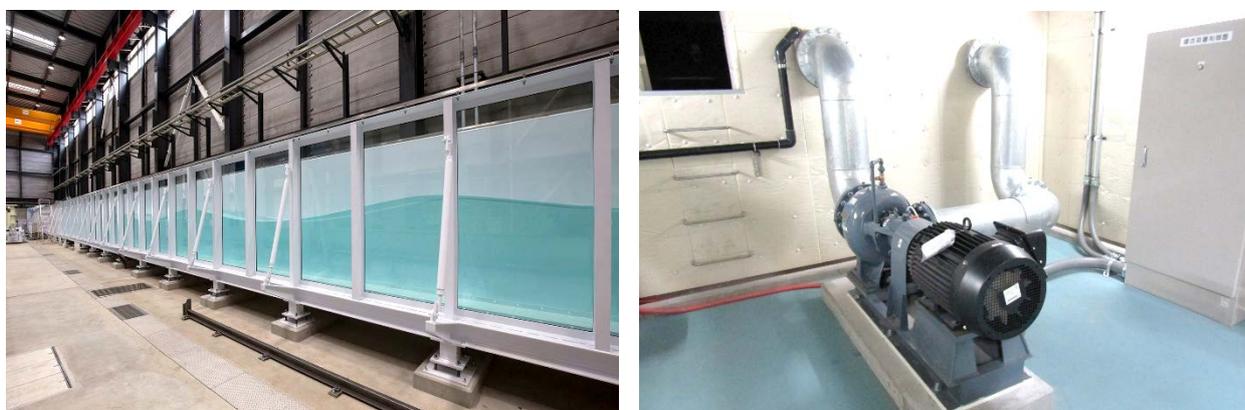


図3 大型造波水路（左）と大型循環ポンプ（右）

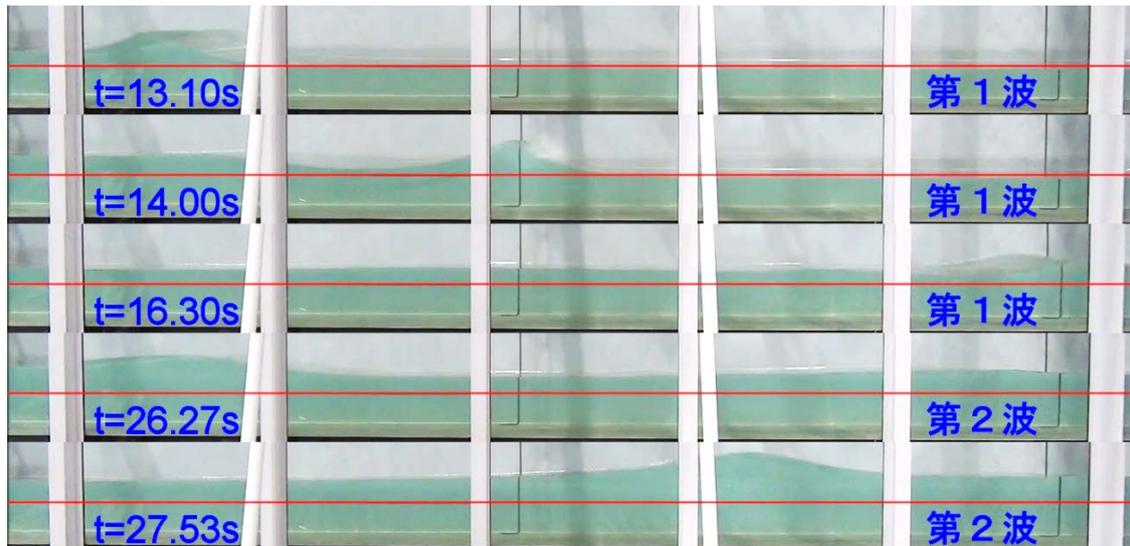


図4 久慈港における東日本大震災大津波の再現（図2の波高計 No. 5 付近）

シリンダによって上昇や下降をする。この上昇・下降動作は、パソコンによって0.1mmの精度で時間制御することができる。はじめに、別途開発した任意津波の造波データ作成プログラムを用いて、任意津波を発生させるために必要なゲートからの水の流出量の時間変化を予め求めておく。このプログラムは、鳥取大学の梶川准教授との共同研究によって開発を行ったもので、水槽内のある特定の場所（防波堤などを置く場所など）で任意津波の水位波形となるように、電動ゲートからの水の流出量の時間変化を求めるものである。以降は、実験水路の操作になる。

図2に示すように、電動ゲートを水槽底面まで下げて、ゲート背面にタンクをつくる。その後、循環ポンプでタンクに注水することによって、ゲート前面と背面に水位差をついた状態にする。そして、電動ゲートを上昇させ、ゲート下端と水槽底面との隙間（ゲート開度）から水が水位の低い方向（右側）に向かって流出し津波となる。津波は、水路を通過して図2の右側にある堰を越流する。越流した水は、循環ポンプでタンクへ戻され、再び電動ゲートを通して津波として流れていく。

我々の段波装置は、電動ゲート後面と前面の水位（図2の波高計 No. 0, 1）のリアルタイ

ム計測と、ゲート前後の水位差を入力条件とするフィードバック制御を行い、電動ゲートの上昇・下降操作を自動的に行う。この制御によって、先に求めておいた流出量になるように、任意津波を造波する。任意津波を発生できることは段波装置の最も重要な機能のひとつであるが、その他にもコンピュータ制御を行っているため、実験を繰り返し行った時の再現性もはるかに高いことも特筆すべき機能のひとつとして挙げておく。

3. 東日本大震災大津波の再現

（1）久慈港の津波再現実験

久慈港を襲った東日本大震災大津波の再現状況を図4に示す。この実験は、実験縮尺は1/60として大型造波水路で行った。写真中の赤い線は、初期の水面高さを表す。電動ゲートを開放してから、14秒後に第1波が写真中央に到達し、砕波している。その後、津波高さ6～8cmの流れが継続した後、津波高さのより大きな第2波が26～27秒後に到達し、津波高さ10cmの流れが継続する様子を再現できている。

図5は、この再現実験の波高計 No. 3 における水位の時系列である。水位0cmが初期の水面である。図5中の水色の線が津波シミュレ

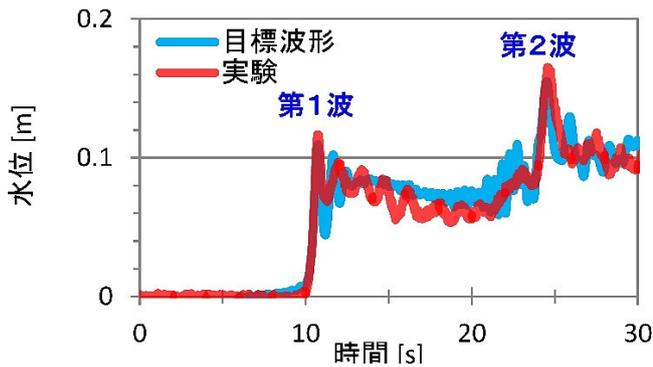


図5 久慈港津波再現実験の波形（波高計 No. 3）

ーションによって得られている久慈港沖の津波波形である。この波形の特徴は、津波高さの異なる段波が2回来襲し、第2波の津波高さ（水位）の方が大きいことと、第1波、第2波ともに先端のピークが鋭い波状段波になっていることに特徴を有する。この波形を水理実験で再現すべき目標波形とした。図5中の赤色が実験で再現できた津波波形である。津波高さの異なる2回の段波はもとより、段波先端のピーク波形までほぼ正確に再現できている。

（2）八戸港の津波再現実験

次に、八戸港における東日本大震災大津波の再現状況を図6に示す。この実験は、実験縮尺を1/70として、小型造波水路で行った。小型造波水路では、大型造波水路とは逆に、画面右から左に津波が来襲する。ケーソンを越流して、背後のマウンドに水が打ち込む様子が再現できている。

図7に八戸港の津波再現実験の波形を示す。図中の丸印が、津波シミュレーションによって得られている八戸港の津波波形である。これを目標波形として、再現実験を行った結果が実線で示されている。ケーソン前面（堤外）、背面（堤内）ともに、長時間にわたって一致しており、実験による津波の再現精度が高いことが理解できる。なお、この事例では、画面中央のケーソン背後に、モーター駆動の電動堰を設け、堰の高さを変えて堤内側水位の自動制御を行っている。

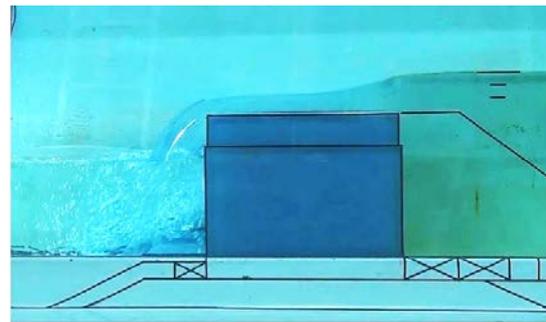


図6 八戸港津波の再現

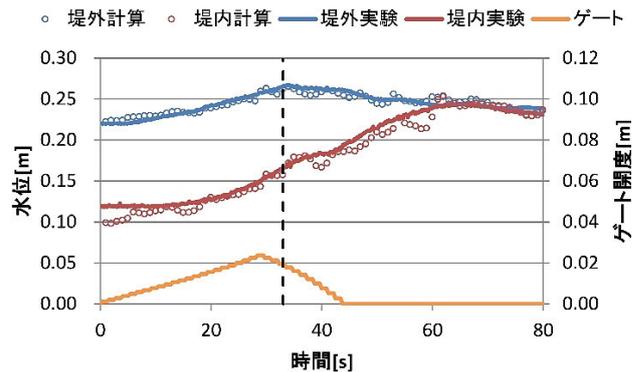


図7 八戸港津波再現の波形

（3）任意津波造波データ作成プログラム

最後に、任意津波の造波データ作成プログラムについて簡単に説明する。段波装置のプロトタイプを作った当初では、ゲート開度等の制御データを変化させつつ実験を繰り返して、目標波形に近づけていく合わせ込み調節を多く行う必要があった。そこで、図8に示すような数値計算プログラムを構築し、予め数値計算によってどのような津波波形になるかを予測することにした。そして、プログラムによって得られた目標波形にできるだけ近い造波データ（ゲートでの流出量）を用いて津波の造波を行う。数値計算プログラム（実線）と実験（破線）とを比較したものが図9である。この数値計算プログラムにより、実験における任意津波が目標波形に近づく時間を大幅に短縮できるようになった。最後に、図10に電動ゲートの開放と段波津波の発生状況を示しておく。

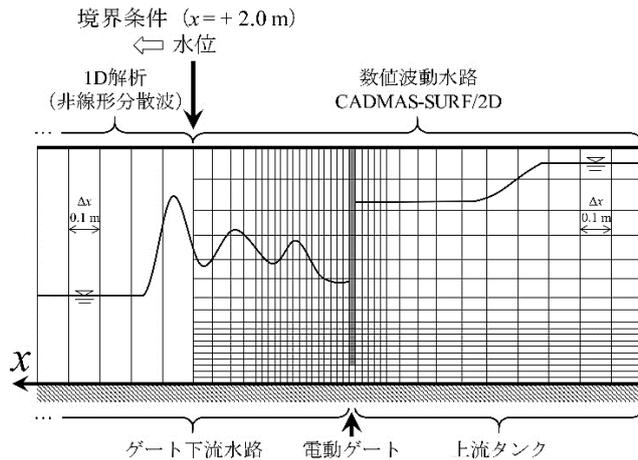


図8 任意津波造波データ作成プログラム

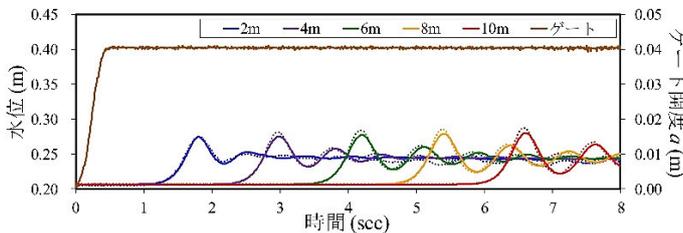


図9 段波の再現

4. おわりに

東日本大震災の巨大津波での教訓をもとに、段波と周期の長い水位変動を連続して造波できる「電動式スルースゲート津波造波装置(段波装置)」の開発を行った。近い将来、南海トラフ巨大地震による巨大津波の発生が危惧されている。これからは、今回開発した津波造波装置を用いて、よりよい津波対策技術の検討を行っていく所存である。

今回の報文では、数式を一切排除している。末尾に、「段波装置」の関連する我々の論文を示したので、参考になれば幸いである。

謝辞

「電動式スルースゲート津波造波装置(段波装置)」の開発に当たっては、鳥取大学大学院の梶川勇樹准教授、東亜建設工業(株)土木事業本部土木部の松田信彦博士に多大なる支援をいただいた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 松田信彦, 千田優, 岩本浩明, 江口三希子, 武田将英: 電動式スルースゲートを用いた段波造波特性, 土木学会論文集 B3(海洋開発), Vol. 73, No. 2, pp. I_240-I_245, 2017.
- 2) 梶川勇樹, 松田信彦, 武田将英, 岩本浩明, 江口三希子, 黒岩正光: 電動式スルースゲートの段波造波用制御データの作成手法に関する研究, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. 73, No. 2, I_271-I_276, 2017.
- 3) 松田信彦, 武田将英, 江口三希子, 西山大和: 電動式スルースゲートを用いた複雑な津波波形の造波方法, 土木学会論文集 B3(海洋開発), Vol. 74, No. 2, pp. I_181-I_186, 2018.
- 4) 梶川勇樹, 松田信彦, 武田将英, 江口三希子, 西山大和, 黒岩正光: 電動式スルースゲートにより造波された段波津波の計算精度向上に関する研究土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. 74, No. 2, pp. I_169-I_174, 2018.

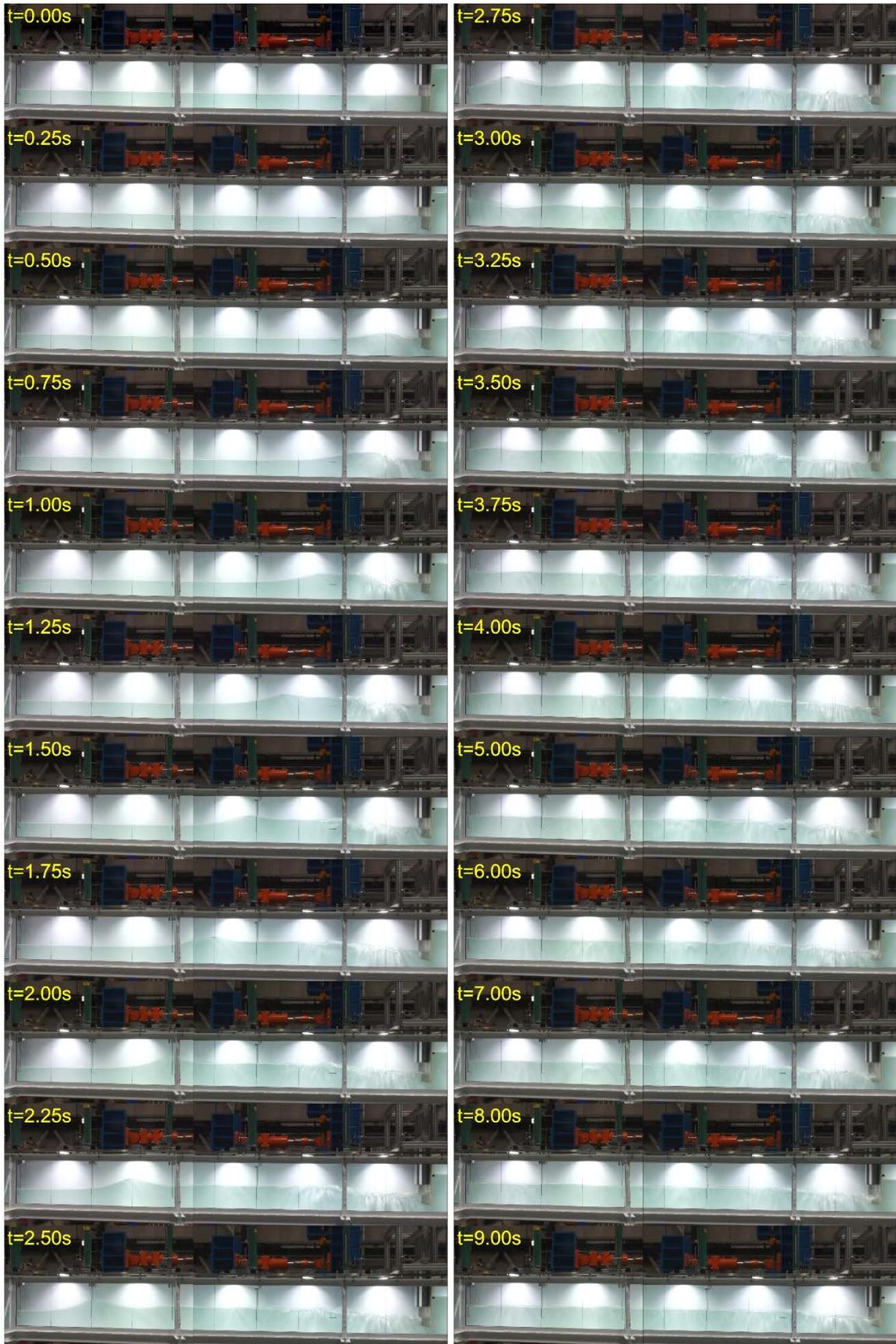


図 10 電動ゲートの解放と段波の発生状況

3. 水路測量計画支援装置 OHTI-YS-SUPPORT の開発

株式会社海洋先端技術研究所

開発部 次長 余野 央行

1. はじめに

水路測量に用いるマルチビーム測深機から得られる水深データは膨大であり、機器の性能向上とともにデータ量もますます増加している。そこで、水路測量による膨大な水深データを管理し、縮尺に応じた確かつ迅速に地図上に可視化し、また海図として採用するための水深値を選択し、出力することができる水路測量計画支援装置 OHTI-YS-SUPPORT の開発を行った。

2. システム構成とソフトウェアの概要

本システムは、Windows 10 64bit 上で動作するデスクトップソフトウェアと、水深データを登録管理する GIS データベースとして PostgreSQL の GIS 拡張版である PostGIS から構成される。PC 1 台のスタンドアロン構成とすることができ、ネットワークを介した複数台の PC からなる構成とすることもできる。

本システムは、マルチビーム測深機から得られた水深データファイルや地物データファイル等を含むプロジェクトフォルダを登録した後、登録データを地図上で確認・比較し、水路測量計画を策定すること等を目的としている。また、登録した水深データをもとに条件を設定してデータ選択し、地図上に表示またはファイルに出力することで、海図の製作等にあたり有用な情報を提供することができる。

3. ソフトウェア画面

ソフトウェア画面は上部のメニューバー、左サイド画面と右側の地図画面から構成される。(図 1)

左サイド画面上部には現在の検索対象ファイル数やデータ選択点数、データ登録中などを表示するステータス画面があり、その下に登録済みのプロジェクトリストが表示される。

プロジェクトリストの左側アイコンによりプロジェクトの属性情報を確認し、また登録情報を変更することができる。位置マークアイコンをクリックすることで、該当プロジェクトの中心位置に地図の表示位置を移動させて登録したプロジェクトの内容を地図上で確認することができる。フォルダアイコンを展開することでプロジェクト内の各ファイルの内容を確認することができる。

地図画面上にはレイヤー切り替えボタン、現在のズームレベル、水深段彩図のカラースケール、範囲指定ボタンや縮尺バーが表示され、地図の移動、縮尺の拡大縮小、表示する地図種類の切り替え等をスムーズに行うことができる。

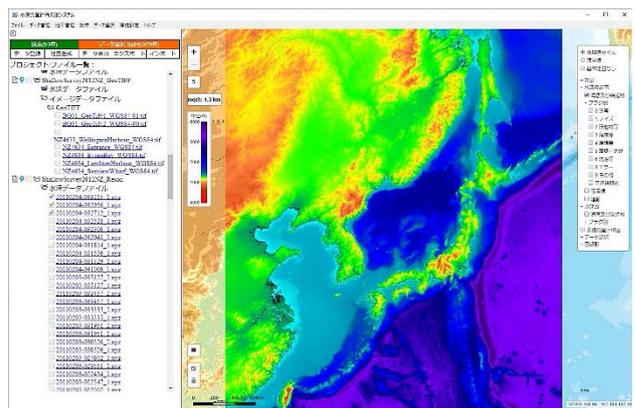


図 1 ソフトウェア画面
(GEBCO 2019 日本周辺データ + 地理院タイル)

(1) 地図表示

地図表示は Google Map 等と同様に画像タイル形式 (1) で描画を行っており、縮尺に

応じてズームレベルを切り替えることで全国レベルからマルチビーム測深点1点1点が判別可能なレベルまでスムーズに縮尺を切り替えることができる。

背景図として、地理院タイル、海岸線、無地を選ぶことができ、海図についても S-57 ENC ファイルを登録して表示することができる。

背景図の上に重畳して、水深段彩図、水深図、水路測量区域図、地物シェープファイルと GeoTIFF 画像ファイルをそれぞれ選択して表示することができる。水深段彩図、水深図、水路測量区域図は、水深データを登録した際に自動生成される水路測量結果を示す図面である。水深段彩図は段彩色設定を任意に変更可能で、自動生成した等深線や陰影を重畳して表示することも可能である。さらに水深段彩図は浮遊物や沈船等のノイズフラグ種別ごとに選択して表示することができる。また、経緯度線や図郭割の表示の有無を選択することができる。等深線の間隔や線色、陰影の倍率等についても設定することができる。

同じ地点に複数の異なるプロジェクトから得られた水深データがある場合には、それぞれの水深段彩図を切り替えて表示することができる。複数の水深段彩図を同時に選択表示した場合には、デフォルトでは測量年が新しいものが上に重なるように表示される。表示順は任意に変更することができる。上記の水深段彩表示機能により、複数回の水路測量結果を同一画面上に横断的に表示したり、それぞれ切り替え表示して比較検討したりすることができる。(図2)

一例として、「浅海測量における高分解能に関する国際会議」 Shallow Survey 2012 で得られた New Zealand Wellington Harbor の沈船領域において複数の異なるマルチビーム測深機で得られた水深データについて、重ねて表示した結果を示す。

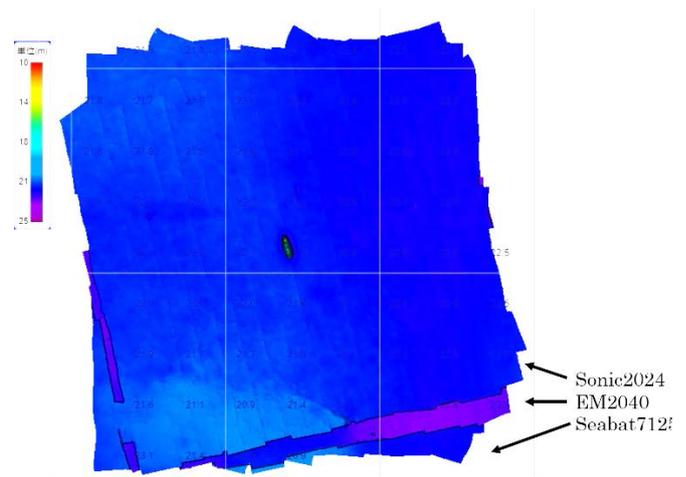


図2 複数の水路測量結果の重畳表示結果
上から Sonic2024、EM2040、Seabat7125 の測深結果

4. ソフトウェアの機能

(1) データ登録

水路測量データはプロジェクト単位で管理する。データ登録時にプロジェクト名や測量種別、測深機器などのプロジェクトの属性情報の入力を行う。登録可能なデータとしては以下のタイプのファイルがある。

水深データファイル:属性付きLMDファイル
属性無し LMD ファイル
XYZ ファイル

地物データファイル: シェープファイル
画像ファイル: GeoTIFF

水路測量データを含むフォルダを指定すると一括でそのフォルダ配下のファイルを自動判別して登録することができる。また、一度に複数のプロジェクトを連続登録することもできる。データ登録時に水深データをデータベースに登録するとともに、水深段彩図のもとなる図面をズームレベルごとにそれぞれ作成する

(2) データ検索

プロジェクトや各ファイルの属性情報をもとにして、登録したデータを検索することができる。地図に表示されている領域に含まれるファイルを検索して一覧表示することもできる。

串刺し検索結果確認リスト

水深	測量年度	測量月	プロジェクト名	水深データファイル名	ファイルタイプ	緯度,経度
18.05 m	2012		ShallowSurvey2012N Z_Reson	20110204-033215_1.xyz	XYZ,CSV	41 16 43.0 S, 174 50 36.0 E
18.2 m	2012		ShallowSurvey2012N Z_R2Sonic	0025 - Area 1.txt	XYZ,CSV	41 16 43.0 S, 174 50 36.0 E
18.92 4 m	2012		ShallowSurvey2012N Z_Kongsberg	EM2040_NIWA_South_seas_wreck_closeup_EM2040_Sample_2011-068_0007_20110308_004907_IKATERE_TILTFIXED_PROCESSED.txt	属性無しLMD	41 16 43.0 S, 174 50 36.0 E

図3 串刺し検索結果

同じ地点の測定結果に測深機器によって1m弱の違いがあることがわかる。

また地図上の一点をクリックすることで、その点に存在する複数の水路測量結果それぞれの水深データの一覧を検索（串刺し検索）することができる。

Shallow Survey 2012 の沈船について、陰影付き水深段彩図と串刺し検索した結果を示す。（図3）串刺し検索した位置は図4中の旗マーカーの位置となる。（図4）

このように、本ソフトウェアを用いることで複数の水路測量の結果を簡単に比較することができる。（Shallow Survey 2012 の詳しい比較検証の結果は参考文献（2）参照）

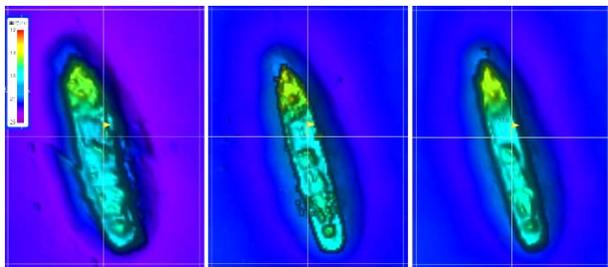


図4 測深機器の違いによる沈船表示結果
左: EM2040 中: Seabat7125 右: Sonic2024

（3）データ選択

登録された水深データについて、様々な方法・条件で一部のデータを抽出（データ選択）することができる。選択した水深データについては、地図上にマーカー表示することができ、またファイルとして出力することができる。（図5）

- ・ 属性選択：登録した水深データの属性に基づいてデータ選択をする。XYZ データの場合は緯度・経度・水深のいずれかの属性のみであるが、LMD データの場合はノイズフラグやビーム角度範囲など様々な条件を設定して選択を行うことができる。
- ・ 矩形選択：地図上で指定した矩形範囲のデータ選択をする。
- ・ メッシュ選択：指定したメッシュ間隔で最浅値のデータを選択する。
- ・ 水深選択：海図製作にあたっては海図に表示する代表的な水深点を密な水深データから選択する必要がある。そのために指定した間隔で、浅所を優先しつつ特徴的な水深点を選択する。また一度選択に漏れてしまった独立浅所も再選択する。



図5 データ選択結果の地図表示

東京港豊洲沖で弊社が実施したマルチビーム測深機とレーザースキャナの同時測量結果の水深段彩図を地理院タイル地図に重畳し、データ選択結果を緑色マーカーで表示した。

左：水深10m以深の属性選択 + 10mメッシュ選択
右：5mメッシュ選択 + 50m水深選択

データ選択機能では上記の選択機能を組み合わせ、何度でも選択処理を行うことができる。また選択実行の前の状態に戻して、違う条件を設定してやり直すこともできる。

(4) データ出力

データ選択した結果は、水深データファイルとして出力できる。ファイル出力時に投影変換設定やファイル分割数を設定することができる。この機能により登録元水深データの結合やフォーマット変換も行うことができる。

また、地図上のある領域を選択し、GeoTIFFやKMZ形式で出力することができる。出力時には、出力ズームレベルや出力する地図の種類、経緯度線等の出力の有無を選択することができる。

5. 性能向上のための工夫

1 ファイルあたり数億点から数十億点からなる水深データファイルをまとめて管理し、日本全国レベルからマルチビーム測深点1点1点が判別可能なレベルまでスムーズに切り替えて表示できるようにするため、様々な工夫を行った。

計算処理は高速化のため極力並列化処理を行い、投影変換処理は一般的に重たい処理となるので、高速処理ができるような投影法を用いた計算を行った。

地図表示の際は大量のレイヤーを同時に表示する必要があったため、並列に描画処理ができるような仕組みを取り入れた。陰影等の地図表示はWebGL技術を用いることで高速描画を行った。また、ベクトルタイル方式も一部取り入れた。

データベースシステムは汎用的なものを採用したため、データベースまわりの高速化には非常に苦労したが、高速化に有用な機能を取り入れて性能向上を図った。

参考文献

- 1) 標高タイルと Web 技術を用いた三次元可視化
西岡 芳晴 日本情報地質学会シンポジウム
2015, 講演論文集, 1-24, 2015
- 2) Common Dataset を用いた測深精度と海底の異物検出能力に関する比較 梶 琢、植木 俊明
海洋調査技術 28(2), 3-9, 2016-09

4. マルチビームソナーDFF-3D の開発

古野電気株式会社

技術研究所研究部市場開発推進室

船用機器事業部開発部

山口 武治

道上 法正

1. はじめに

3次元の詳細な海底地形や魚群分布が得られるマルチビームソナーは、従来、調査船や大型の漁船などで使用されてきた。しかし、マルチビームソナーは一般的に高価かつ大型であり、小型の漁船やレジャーボートには容易に装備できなかつた。

2. DFF-3Dの概要

DFF-3D は小型船にも搭載可能なマルチビームソナーである。センサの重量は3.9kgと小型・軽量で、レジャーボートでも手軽に装備することができる。探査性能は、従来の調査船用マルチビームソナーと同程度（左舷から右舷にかけてのスワ幅120°、探知深度200m）である。これを魚群探知機並みの低価格で実現している。

なお、DFF-3D 自体に表示部はなく、ネットワークを通して共通表示装置である NavNet TZtouch もしくは TZtouch2 シリーズに接続して使用する。



DFF-3D 外観と Navnet TZtouch シリーズ

【特徴1 小型かつ安価な送受波器】

一般的なりニアレイを用いたマルチビームソナーは、送受波器の大きさと探知距離、もしくは送受波器の大きさと方位分解能がトレードオフの関係にある。探知距離を長くしたい場合は周波数を低くすればよいが、送受波器が大きくなる。また、方位分解能を上げる場合はチャンネル数を増やせば良いが、やはり送受波器が大きくなってしまふ。

DFF-3D では、少ないチャンネルでも方位分解能を保つことができる独自の信号処理アルゴリズムを採用する事で、送受波器の小型化と長い距離探知を両立している。



センサの大きさ（フェアリング含む）

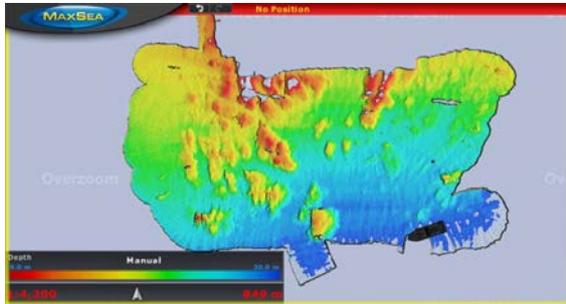
【特徴2 動揺補正機能を内蔵】

DFF-3D は送受波器の内部に動揺センサを内蔵しており、船体のロール・ピッチを検出して映像への影響を補正する。これにより船の動揺に左右されることなく安定した探知を行うことができる。

【特徴3 海底地形データの出力機能】

DFF-3D は深度データを出力する機能を備えている。MAXSEA 社の海図表示ソフトウェア

TIMEZERO®に DFF-3D を接続し、GPS の位置情報と船首方位情報を入力することで、オリジナルの海底地形マップを生成することができる。

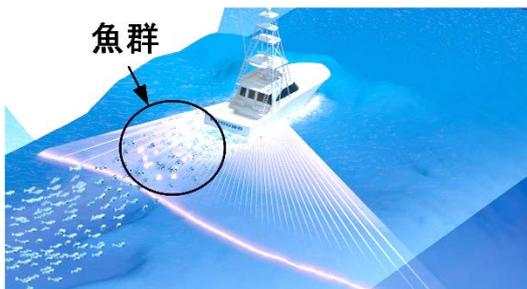
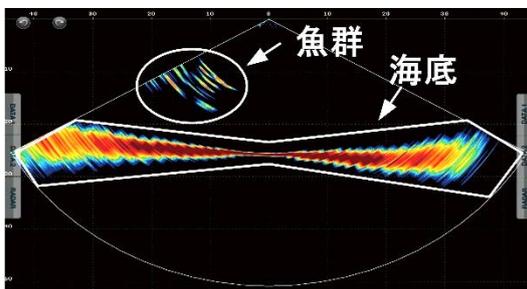


三浦半島沖の岩場にて
DFF-3D を用いて生成した海底地形マップ

【特徴4 様々なシーンで活躍する
4つの表示モード】

DFF-3D は4つの表示モードが存在する。ここではその表示モードを紹介し、どのようなシーンで役立つのか説明する。

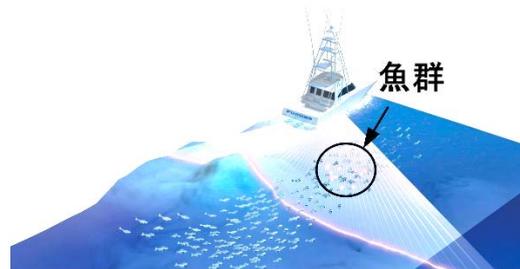
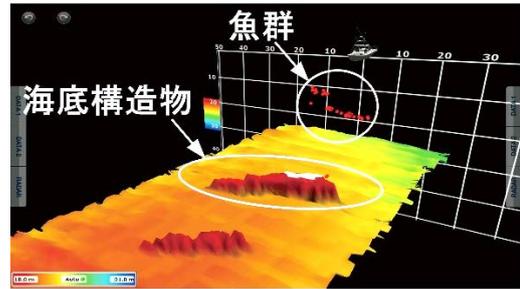
1) 断面モード



断面モードの表示と模式図

断面モードは船の右舷から左舷にかけての断面をリアルタイムで表示するモードである。右舷から左舷にかけての探知範囲は120°であり、最大10Hzで映像が更新される。自船直下の魚群の分布や海底地形をリアルタイムに把握するのに最適なモードである。

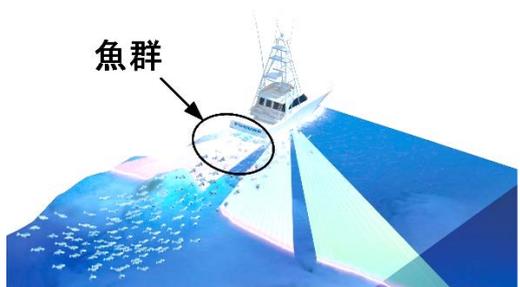
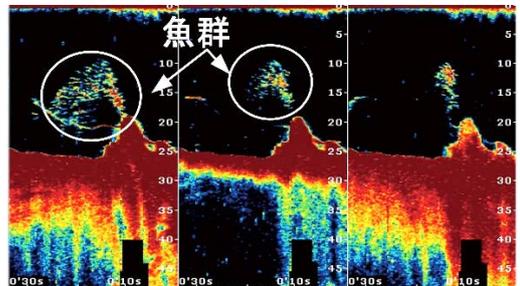
2) 3D履歴モード



3D履歴モードの表示と模式図

3D履歴モードは、断面モードの映像から海底地形と魚群分布を抽出し、時系列でつなぎ合わせて3D表示するモードである。表示は一定速度で自船の後方へスクロールしており、自船の航跡下にある構造物や魚群の方向を直感的に把握するのに適したモードである。

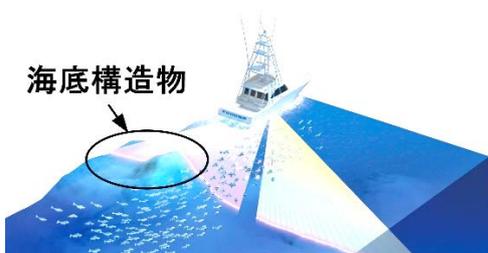
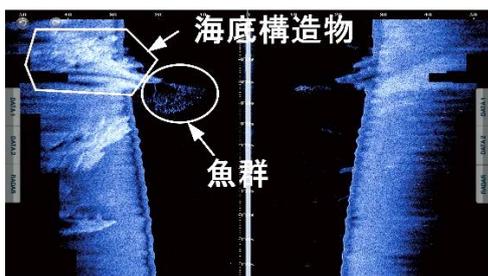
3) マルチ魚探モード



マルチ魚探モードの表示と模式図

マルチ魚探モードは、右舷、真下、左舷それぞれの方位から得られた映像を、従来の魚群探知機と同じように表示するモードである。魚群探知機の表示に慣れ親しんだユーザーが、広範囲を探知する魚群探知機として使用するのに最適なモードである。

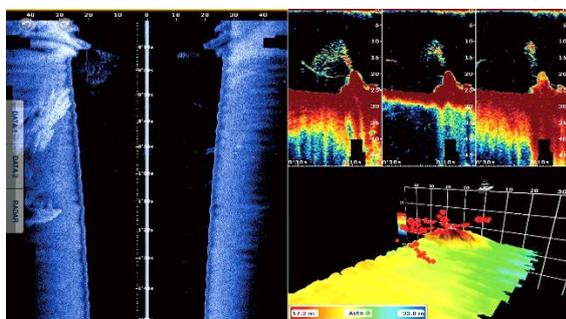
4) サイドスキャン (Side Scan) モード



サイドスキャンモードの表示と模式図

サイドスキャンモードは、サイドスキャンソナーのように、右舷側と左舷側の地形を陰影で表示する。海底の構造物を把握するのに適したモードである。

これらの4つのモードは状況や好みに合わせ、複数のモードを組み合わせることで表示することが可能である。



NavNet TZtouch での表示例

3. DFF-3Dの開発で苦労した点

開発時に苦労した点として、魚群と海底のエコーを識別するアルゴリズムが挙げられる。漁業者やスポーツフィッシャーにとってはこれらの識別が重要であり、高精度な識別アルゴリズムが求められていた。DFF-3Dでは、当社の従来の魚群探知機で採用されている海底検出アルゴリズムと、海底の断面エコーの特徴から海底を特定する新しいアルゴリズムを

組み合わせ、さらに海上での評価を10回以上重ねてアルゴリズムを細かく調整することで、海底と魚群の高精度な識別を実現した。

4. DFF-3Dの評価

DFF-3Dは探知距離の長さや探知範囲の広さが欧米のスポーツフィッシャーや漁業者に受け入れられ、高い評価を得ている。その裏付けとして、優れた船用電子機器に送られるNMEA Awardを受賞している(2017年にTechnology Award、2018年にProduct of Excellenceを受賞)。

5. まとめ

DFF-3Dは安価かつ小型なマルチビームソナーである。送受波器を小型化したことで、今までマルチビームソナーの装備が困難だった船舶にも手軽に装備できる。またDFF-3Dは深度出力機能と4種類の表示モードを具備することで、ユーザーのニーズに合わせた情報提供を可能にした。

詳細な製品紹介は古野電気株式会社のホームページを参照されたい。

<https://www.furuno.com/special/jp/fishfinder/dff-3d/>



<https://www.furuno.com/special/en/fishfinder/dff-3d/>



謝辞

DFF-3Dの開発にあたり、ご支援いただいた関係者各位に深く謝意を表す。

プランクトンが語る海の環境と生態系《9》

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》植物プランクトン篇	その1
182号	プランクトンが語る海の環境と生態系《2》植物プランクトン篇	その2
183号	プランクトンが語る海の環境と生態系《3》植物プランクトン篇	その3
184号	プランクトンが語る海の環境と生態系《4》植物プランクトン篇	その4
186号	プランクトンが語る海の環境と生態系《5》動物プランクトン篇	その1
187号	プランクトンが語る海の環境と生態系《6》動物プランクトン篇	その2
188号	プランクトンが語る海の環境と生態系《7》動物プランクトン篇	その3
189号	プランクトンが語る海の環境と生態系《8》動物プランクトン篇	その4

1 昔から毎年大量に漁獲されてきた魚—多獲性浮魚

水産物としての魚類は、漁獲する場所や漁法などによって便宜的に呼び分けられます。それは、対象となる魚類の分布や生活といった生態を反映していますが、分類学的な種の認定とは全く異なった、いわば商品としての呼称です。「浮魚」と「底魚」という呼称はその例で、前者は、^{うまうお}旋網、^{そこうお}流し刺網や^{まきあみ}延縄、^{はなわ}定置網などによって漁獲される表中層遊泳魚類のことを、後者は、^{おきうお}底曳網、^{まじあみ}底刺網、^{はなわ}底延縄などで獲れる底生性魚類のことをいいます。また、沖合で獲れる^{おきうお}沖魚、岩礁や藻場のまわりで獲れる^{いそうお}磯魚、養殖された養殖魚などという呼称もあります。いずれも水産業界の言葉で、日常生活ではあまり使われない言葉です。

^{たかくせいうきうお}多獲性浮魚はさらになじみのない言葉だろうと思いますが、今回の主役はこれです。特に種類が指定されているわけではありませんが、例えば農林水産省は「多獲性魚とは、いわし、あじ、さば、さんま等一度に大量に獲れる魚」としています。外国では小型浮魚類 (small pelagics) と呼ばれることが多いのですが、そういう報告をあわせ考えると、カタクチイワシ、サンマ、ニシン、マアジ、マイワシ、マサバ、さらにイカ類がリストに上がってきます。共通する生態上の特徴は、

小型、短寿命、高度の集群性と回遊性です。わが国の漁獲量 (図1) はもとより、世界の総漁獲量の大半を占める (図2)、経済的にも重要な魚類です。これらのうちニシンは、シベリアやアラスカなどで大量に獲られており、北大西洋でも主要な漁獲物ですが、日本での漁獲量は極めて少なくなっています。サンマは、大西洋にはいなく、北太平洋には広く分布しており、わが国は以前から毎年大量に漁獲しています。近年は、台湾、ロシア、韓国、中国による漁獲も増えています (図3)。

これらの多獲性浮魚類はいわゆる大衆魚として親しまれ、ずっと昔から多くの人々の日常的な食料となってきました。たくさん獲れるので、肥料にされることもありました。今日では、水産養殖はもとより、畜産業の飼料にも加工されています。近代以降に限ってもすでに百年以上、毎年大量に漁獲され続けています。人工的に孵化放流したり、餌を与えたり、天敵を駆除しているわけではありません。全くの自然群集であるにもかかわらず、資源が枯渇しないのはなぜでしょうか。これからの百年間も大丈夫なのでしょう。それを考えるのが今回の主題であり、この「プランクトンが語る海の環境と生態系」シリーズの総まとめでもあります。

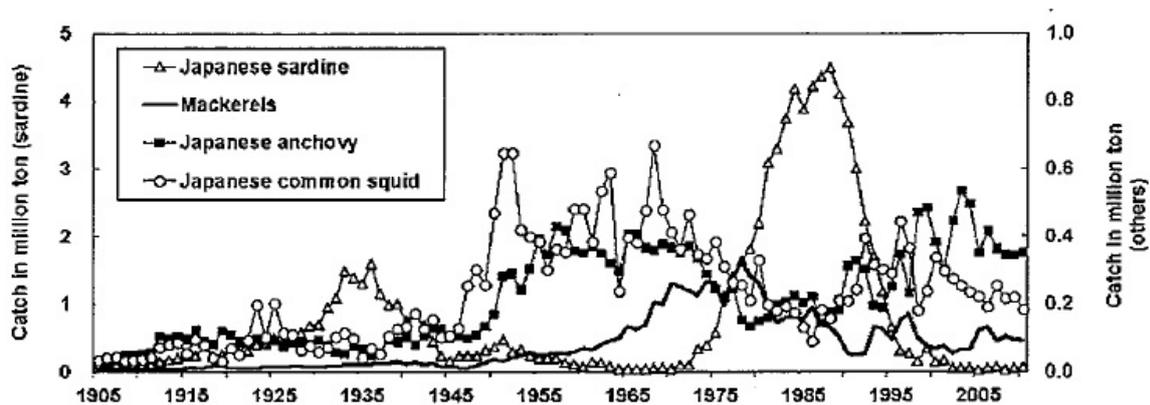


図1 過去100年間の日本漁船による多獲性浮魚類の漁獲量の経年変化(谷津⁶⁾より)
 マイワシ(Japanese sardine)、サバ類(Mackerels)、カタクチイワシ(Japanese anchovy)、イカ類(Japanese common squid)のデータが示されている。このうちマイワシの漁獲量はけた違いに多いので、左軸に百万トン単位で目盛り、その他の魚種の漁獲量はその十分の一の単位で右軸に目盛りされている。多獲性浮魚類は、量が多いだけでなく、非常に大きく変動すること、マイワシの変動とその他の魚種の変動が逆位相であるらしいことも示されている。

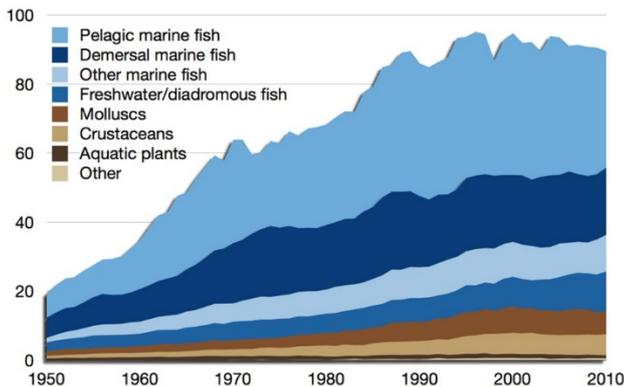


図2 世界の漁業生産量の経年変化(FAOの統計資料による)
 最初のカテゴリPelagic marine fishが多獲性浮魚類に相当するが、その量が最も多いことが分かる。因みに、Demersal marine fishは底魚、Other marine fishはその他の海産魚、Freshwater/diadromous fishは淡水魚と通し回遊魚(河川と海洋との間を回遊する魚類)、Molluscsは軟体動物(イカ、タコ、貝類)、Crustaceansは甲殻類(エビ、カニ類)、Aquatic plantsは海藻草類、そしてOthersはその他を示している。養殖漁業は含まれていない。

2 多獲性浮魚類の寿命と大きさ

魚をよく食べる人でも、魚の寿命について考えることはあまりないでしょう。しかし後で述べるように、それは重要なことなのです。そこで、主な多獲性浮魚類の寿命と体サイズをまとめてみます。餌や水温等の環境によって、体サイズはもとより寿命も変化します。

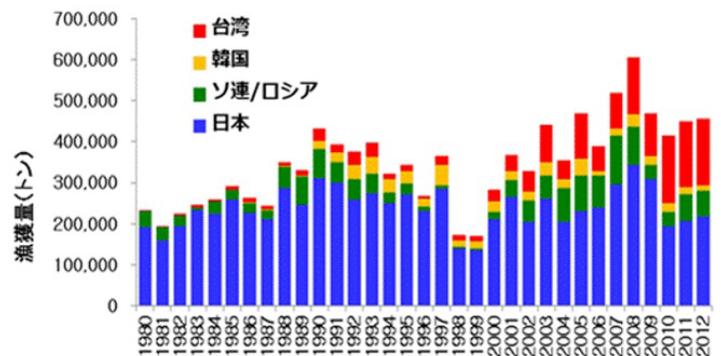


図3 日本近海におけるサンマの国別漁獲量(全国さんま棒受網漁業協同組合のHPより)
 ソ連と台湾が先鞭をつけたこと、1990年代から外国による漁獲量が急激に増えていることが見て取れる。

以下に挙げる数字は、かなり広い範囲にわたっているさまざまな報告値から、目見当で抜き出した平均的な値です。統計的に検定された値ではありません。

カタクチイワシは、シラスや出汁用の煮干としてなじみの深い、身近な多獲性浮魚です。寿命は2-3年、1年(0歳または当歳ともいいます)で体長10cm、体重13g程度になって産卵するようになり、その後2年目満1歳で15cm、23g、3年目2歳で18cm、30gほどになります。同じイワシでもマイワシはより長命で、寿命は5-6年、8年も生きて30cmになることがあります。1年(当歳)の

うちに性成熟して産卵しはじめるものがあり、3年目2歳では20–23 cm、100–150 g となって100%が成熟します。最近ニュースになることが多いサンマの寿命は、基本的には1年です。冬に生まれ、その年のうちに28 cm、100 g になって繁殖し、生まれるのが遅かったものは2年目まで生きて繁殖します。そのときのサイズは35 cm、160 g ほどです。

少し大型の多獲性浮魚であるマサバはやや長生きで、平均的な寿命は6–7年、11歳という記録もあります。1歳で24 cm、190 g、2歳で31 cm、300 g になって半数が性成熟、3歳で35 cm、400 g となって100%が成熟します。その後4歳で37 cm、520 g、5歳で40 cm、650 g、6歳以上で60 cm、2 kg に達するといわれますが、漁獲の主体は1–3歳のものです。さらに大型なカツオの平均寿命は7年です。

1歳で40 cm、1.2 kg となって半数が成熟、2歳で60 cm、3.5 kg で100%成熟、最高で10歳20 kg まで生きるといわれますが、3歳で70 cm、5.5 kg のものが主に漁獲されます。

ブリやマグロは浮魚としては最大級の類で、これを多獲性浮魚類の章で紹介することには異論もあるでしょうが、生態にも漁獲のされ方にも共通点がありますので、参考のために数値を挙げることにします。ブリは、成長とともに名前が変わる出世魚の代表ですが、平均寿命は6–7年、最大で1.5 m、40 kg に達します。一般に4歳80 cm、8 kg 以上のものをブリといい、それ以前のものは地方によって異なる幼名と呼ばれます。当歳で32 cm、500 g、1歳で50 cm、4 kg となって半数が成熟、2歳で65 cm となって100%が繁殖に参加します。大人気のクロマグロの寿命は15–20年、1歳で56 cm、4 kg、3歳で1 m、30 kg となり20%が成熟、5歳で160 cm、90 kg、100%が成熟して繁殖に参加します。10歳で190 cm、130 kg になり、15–20歳で3 m、400 kg 以上になるといわれます。

以上のように、最大どれほど大きくなるか

によって異なりますが、ひとくくりにまとめると、多獲性浮魚類の性成熟までの期間は1–2年、長くても5歳ですべてが繁殖に加わり、寿命は1年ないし多くは5年程度、巨大なクロマグロでも15–20年だということになります。

3 磯魚および底魚との比較

多獲性浮魚類と沿岸域で漁獲される磯魚や底魚類の特徴を比べると、どういうことが分かるでしょうか。沿岸海域の環境は地方によって異なるので、魚類の生長も地方によって異なりますが、ごく平均的な数字をあげると次のようになります。

マダイは磯魚の代表ですが、5–6歳で50–70 cm、2–3 kg になると性成熟し、寿命は20–30年で、最大10 kg になるといわれます。底魚の代表ヒラメは、45 cm、1 kg になる3歳で成熟、寿命20年、最大5 kg になります。他の磯魚であるクロソイとトラフグは最大3 kg までになりますが、ともに寿命は10年です。大型のハタ類では、寿命が50年で100 kg 以上、最大400 kg という記録もあります。このように、大型種ほど長寿命の傾向がありますが、かわいいムツゴロウ（最大で20 cm 程度）やクマノミ（最大15 cm 程度）でも、寿命は8年とか10年になります。内湾でよく見られるマハゼは、底魚としては例外的に短命で、寿命1–2年、最大サイズは15 cm、20 g 程度にすぎません。

以上をまとめると、磯魚や底魚には次のような傾向があるといえます。すなわち、浮魚類と比較した場合、性成熟に達するまでの期間が長く、寿命も長い。しかし、高齢になって到達する体サイズは、同年齢の浮魚に比較すると、小さいといえます。マハゼのような例外はありますが、磯魚や底魚は、ゆっくり成長して長生きするわけです。反対側からみると、浮魚類は、孵化後急速に成長し、短期間のうちに成熟して繁殖するけれど、寿命は

短い、ということになります。これが、多獲性浮魚類の顕著な特性です。このことが後の論議の鍵になりますので、覚えておいてください。

4 世界の主漁場と漁場形成の条件

漁場が成り立つためには、対象となる魚介類が獲りやすい場所に集っていることが必要です。いくら大量にいても、広い海域に分散しては漁獲しにくいですし、集群しているところがマーケットからあまりに遠ければ商業としては成り立ちません。このように、漁場形成にはそれなりの必要条件があります。例えば水産庁の「自然環境によって形成されてきた漁業・漁村と食文化」は、広い陸棚、大規模なバンク、寒流と暖流との潮境という条件に恵まれた、北東大西洋海域、北西大西洋海域および北西太平洋海域を、いわゆる世界三大漁場としているようです。富栄養でプランクトン生産力が高い海域だということでしょう。

たしかに、陸棚や浅海域では、海底で分解した有機物由来の栄養塩が表層へ再補給されやすいので(第1回第5章)、プランクトン生産力は周年高く、魚類の生息密度も高くなります。しかも陸に近いので、漁獲は容易であり、漁獲物をマーケットへ供給するにも有利です。消費地を控えた陸棚域は、最良の漁場としての条件を備えています。北東大西洋の北海の広大な陸棚域が古くから優良な漁場であったのは、当然です。バンクがあれば、中下層の流れが上昇して栄養塩を補給するので漁場が形成されるということも、納得できます。北西大西洋海域には、ジョージズバンク(Georges Bank)、ウエスタンバンク(Western Bank)、グランドバンク(Grand Bank)が列をなして壮大な海底山脈を形成しているので、ここが優良な漁場になっているのは当然です。実は、北海には陸棚に加えてドッガーバンク(Dogger Bank)もあり、北西

大西洋のバンク列の岸側には陸棚が広がっているので、両海域とも陸棚とバンクの相乗的な恩恵を受けています。好条件が揃っているのです。

寒流と暖流との潮境に漁場ができやすいということも、よく知られたことです。ただし、潮境では対流や混合が起こるために、あるいは富栄養な寒流水が貧栄養な暖流水に栄養塩を供給するために潮境は富栄養になるという説明、さらには、潮境にはプランクトンが集積するという説明は、いずれも、間違いではありませんが、核心をついているとはいえません。潮境に供給ないし集積される栄養塩とプランクトンの量が、その供給源である寒流域におけるよりも多くなることはありませんから、真実は別にあるはず¹⁾。日本近海は、水産庁がいう三大漁場のひとつ北西太平洋海域の中心ですが、本誌の読者がよくご存知のように、北東・北西大西洋にあるような立派な陸棚やバンクはありません。あるのは親潮と黒潮の収斂だけです。それゆえ、わが国における漁業資源管理にとっては、寒流暖流収斂域における「真実」を攻究することが極めて重要です³⁾。後の6章で、その考え方を示します。

前掲の三大漁場には入っていませんが、ペルー沖やカリフォルニア沖の風成湧昇流域での漁獲量は、三大漁場での漁獲量に劣りません。むしろ、より大きいといえます。エルニーニョのときには低生産ですが、ラニーニャのときには他の漁場での生産をはるかに上回ります。その変動幅が非常に大きいので恒常的な大漁場に含めないのかもしれませんが、変動が大きいという事実は、湧昇流の恩恵が絶大であることを証明しているともいえます。同様な風成湧昇流は、オーストラリア、アフリカ、イベリア半島の西岸沖でも起こり、やはり好漁場になっています。湧昇流は、陸棚、バンク、潮境に劣らず、重要な漁場形成の条件です。

5 多獲性浮魚類の主漁場と成立条件

わが国の多獲性浮魚類の漁場は、当然日本列島周辺の海です。カタクチイワシのように各地の沿岸海域にそれぞれの群集がいる魚種では、それぞれにおける適期に漁場ができます。ニシンの場合は、北海道沿岸の藻場に産卵のために群来るときに漁場ができます。スルメイカやヤリイカは列島周辺海域を広く回遊し、日本海沿岸域を中心に広い範囲で産卵しているようで、主漁場は日本海と東北・北海道の太平洋側に、それぞれ異なる時期に形成されます。

漁獲量が大きいサンマ、マアジ、マイワシ、マサバなどは、日本海と太平洋の沖合を広く回遊します。夏は、東北・北海道の東方の親潮域、さらに沖合の亜寒帯海域で動物プランクトンを飽食し、秋には南下して亜熱帯海域に入り、冬に黒潮の影響域で産卵します。詳細な回遊経路、群集構造、産卵の場所と時期などに種による差はありますが、夏に北方の親潮周辺域を索餌域とし、秋に南下し、冬に東海沖、紀州沖、薩南海域で産卵することはほぼ共通しています。さらに東シナ海までを産卵域にする系群や、日本海の北部冷水域を索餌域とする系群もありますが、主体は、親潮域を索餌域とし、黒潮域を産卵場および仔稚魚の生育場としているといえます(図4)。卵や仔稚魚は黒潮に流されながら発生成長し、春から夏にかけて房総沖の黒潮続流域に達して親潮域へと能動的に進入します。親潮域では動物プランクトンを飽食して急速に成長し、秋には南へと回帰し、多くの個体は早くもその年の冬に産卵します。いずれも、小さな体からは想像もつかないくらい広い範囲を回遊し、短期間に成熟するということが多獲性浮魚類に共通する特徴です。主な漁場は、親潮域から南下する群を追って、あるいは産卵場に集まる

群を狙って形成されます(図4)。カツオやマグロはほとんど北太平洋全体を回遊しますが、やはり回遊群を追うようにして漁場が形成されます。

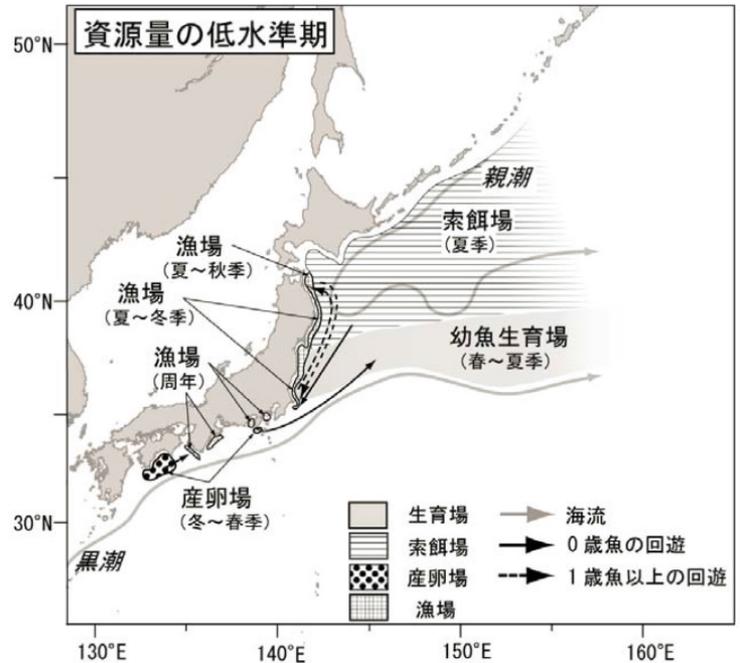


図4 マイワシの資源低水準期における回遊と漁場 (水産庁HP:平成27年度全国資源評価会議資料3より) 冬—春に黒潮影響域で産卵し、生まれた卵稚仔が黒潮に乗って黒潮親潮移行域に、夏には親潮域へと進入して秋まで盛んに索餌すること、その後夏の終わりから冬にかけて産卵場へと回帰することが示されている。その途上、日本列島に近いところに来遊したものが漁獲されることも理解できる。これは近年の資源低水準期の回遊範囲を示しているが、1980—90年代の資源高水準期には、北海道から南千島の東方の非常に広い海域にわたって回遊していたことが明らかになっている。

これらの漁場の形成に、陸棚、バンク、湧昇流は、ほとんど関わっていません。房総沖の黒潮続流から道東東北沖の親潮の南端までの間は移行帯(第3回第2図)といわれますが、そこには暖水塊、冷水塊、ストリーマなどの複雑な海洋構造があり、潮境といわれるような構造が無数にあります。ここに漁場ができるのは確かですが、ここに親潮域を超える量のプランクトンがいるということはほとんどありません(図5)。したがって、潮境が漁場形成の条件であるとしても、それはプランクトン生産が高いからではなく、魚群その

ものが集群しやすいからだと考えなければなりません¹⁾。寒冷的な亜寒帯海域と温暖な亜熱帯海域との間を往来するには、移行帯で新環境へ馴化する時間が必要なのでしょう。

一方、餌が豊富な親潮域であり漁獲されないのは、親潮域で索餌中の魚群は若くて小型だったり、広い海域に分散していたり、マーケットから遠い海域にいたりするからだと思います。たくさんの餌を食べて大きくなり、体脂肪をたっぷり蓄えた魚は商品価値が高くなります。その時期を待って秋の南下群を漁獲するのです。「下り鯉」とか「トロサンマ」などがその例ですが、そういう南下群は、新環境への馴化のために環境傾斜の大きい潮境などに停滞してより濃密な群を形成すると考えられます。それが移行帯に好漁場ができる理由だと考えられます。移行帯よりも南方の海域にも漁場はできますが、それも高いプランクトン生産に誘引されるからというよりは、産卵域などに集って群をつくること为主要理由になっていると思われます。

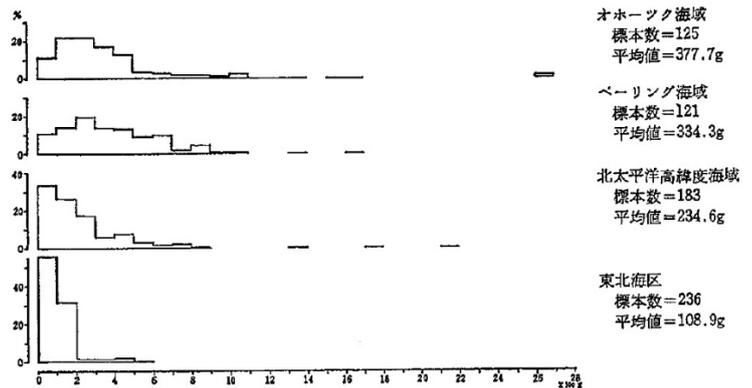
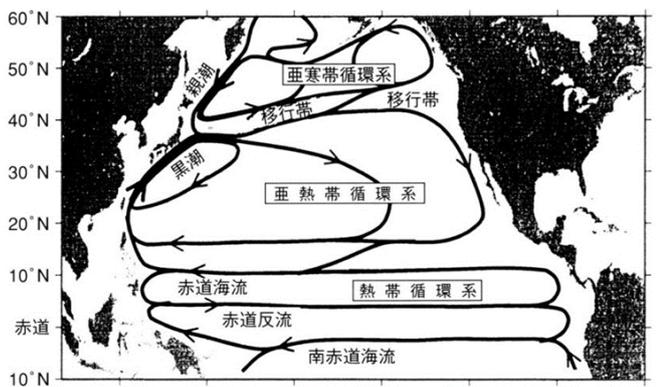


図5 東北海域(移行域)に動物プランクトンが特に集積しているわけではないことを示す図(谷口¹⁾より) 移行域よりも北方の親潮域、オホーツク海、ベーリング海では、動物プランクトン量が平均的に多いだけでなく、局所的な濃密群集を形成していることを示している。動物プランクトンの濃密群集は、魚にとって最も好ましい餌場となる。

以上のような事情は、陸棚やバンクが発達した北大西洋や優勢な湧昇流域であるペルー沖などにおける漁場形成機構とは異なっています。日本近海における多獲性浮魚類の漁場形成は、特殊な機構によっていると認識しなければなりません。

6 一石三鳥の適応戦略

すでにみたように、多獲性浮魚類は、遠く離れた索餌域と産卵域との間を往復します。この大回遊に費やすエネルギー量は、彼らの小さな体にとっては大きな負担であるに違いありません。なぜこれほどの大回遊をするのでしょうか。にもかかわらず、狭い場所であり動き回わずに生活する底魚や磯魚よりも早く大きくなり、個体群全体の量(資源量)も膨大になるのですから、不思議はさらに増します。資源量や漁獲量が多いのは多獲性浮魚類の生息海域が広いからだとはいえるでしょうが、より早く大きくなることは、生息海域の広さだけでは説明できません。どのような理由によるのでしょうか。このときに思い出されるのが、第8回第4章に示した、動物プランクトンの浮遊運動は摂食および呼吸の運



第3回第2図 北太平洋の循環系

(須賀利雄: 気候変動予測に重要な海洋モニタリングより引用)

北太平洋では、親潮が属する亜寒帯循環系と、黒潮が属する亜熱帯循環系が隣接し、その中間に移行帯がある。移行帯の南北幅は、東側(北米近海)に比べて西側(日本近海)では狭く、日本近海の小型浮魚類が親潮域と黒潮域とにまたがって回遊することを容易にしている。

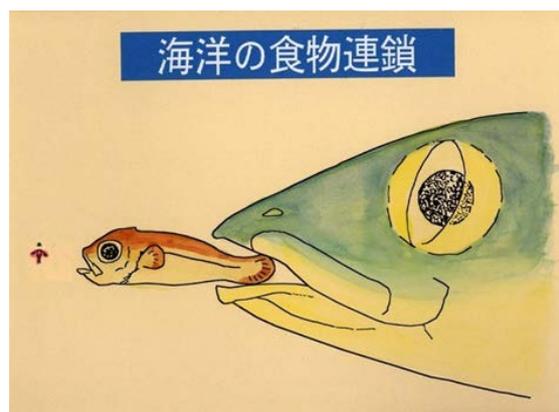
動を兼ねるということです。一つの運動で三つの目的を同時に果たすというエネルギー節約の行動は、浮遊し続けなければならない動物プランクトンが獲得した機能的な適応でした。それと同じことが多獲性浮魚類の回遊生態にもいえるのです。

簡単にいうと、彼らの遊泳は、親潮域と黒潮域とを往復するという長距離移動のためだけでなく、濾過摂食と呼吸の運動をも兼ねているということです。多獲性浮魚類はどの種も、口をあけたまま、しかもかなりの速度で泳ぎます。そうすると、海水は自動的に口の中に入り、溶存酸素は鰓^{えら}で、餌のプランクトンは鰓耙^{えいば}で摂取することができます。すなわち、多獲性浮魚類の遊泳は、移動、呼吸、摂食という三つの役割を同時に果たしているのです。これが「一石三鳥」の意味で、動物プランクトン同様に、多獲性浮魚類が獲得した適応生態だと考えられます。そのおかげで、遠い親潮域まで北上しても、小型浮魚は急速に成長することができるのです^{2, 3)}。

では、なぜ餌の少ない南方海域に戻るのでしょうか。いくら一石三鳥といっても、エネルギー消費は避けられないのですから、遠いところまで帰るのはむだなことのようにみえます。しかし現実に帰るのですから、その消費エネルギー以上の利得があるに違いありません。それは何でしょうか。その答えは、第6回第1図にあります。それは、微細な植物プランクトンが基礎生産者である海洋生態系では、小さいものが順次大きなものに捕食されることによって食物連鎖が成り立っていることを示していました。ということは、小さなものほど多くの動物に捕食される可能性が高いということですから、仔稚魚が捕食を免れようとすれば、少しでも早く大きくなる必要があります。魚類などの変温動物では、適温の範囲では、水温が高いほど生理活性が高くなるので、卵に十分な卵黄が与えられていれば、高水温域ではより短時間で孵化し、よ

り早く成長します。その結果、被捕食のリスクは低下します。サイズが食う食われるの関係を支配する海洋生態系では、産卵域および稚仔の生育域として高水温域を選択することが有利なのです。これが、多獲性浮魚類が南方海域へと産卵回遊する理由だといえます。

しかし、成長して成熟齢に達したときには、より多くの脂質を蓄えて、より健全な卵をより多く産卵できるようになっていることが有利になります。それゆえ、稚魚は親潮域へと北上して豊富な動物プランクトンを飽食するのですが、そのときに黒潮に乗って移動エネルギーを節約できれば、とりわけ小さな稚魚にとっては有利になります。それゆえ、親魚は黒潮域で産卵するのです。黒潮に乗って行き着いた親潮域には、餌が多いということ以外の利点もあります。親潮域は低水温なので、稚魚の生理活性は低く抑えられます。その結果、食べた餌の消費も抑制され、その分体内の脂質蓄積量が増え、早く大きくなり、より多くの健全卵を産むことができるようになります。これらのことは、第8回第4章でみた、動物プランクトンの日周鉛直移動にみられた適応価値のアナロジーだといえます。



第6回第1図 海洋の食物連鎖

(谷口：海とプランクトン2。海洋と生物より)

餌を丸呑みしなければならない海洋環境の食物連鎖では、動物の体が食段階に応じて順次大きくなっている。小型動物はより多くの捕食者の攻撃を受けるが、大型になるにしたがって、攻撃してくる動物は順次少なくなる。

小型動物は体内のエネルギー蓄積量が少ないので、一石三鳥のような節約型の適応が有利に働きます。体内蓄積量が大きいクジラのような大型動物はもちろん、小型であっても必要なときに必要な量の餌を食べることができるならば、このような節約型の適応は必要ありません。外洋域とは異なって、基本的に高生産系である沿岸浅海域の動物には、このような適応は見られません。沿岸浅海域では、餌不足に耐えて生残するとか、産卵ないし孵化を適期まで延期する必要があるときには、他の海域へと回遊するよりは、海底で休眠する方が安上がりだからです。

7 多獲性浮魚類対象の漁業は持続的産業

以上で多獲性浮魚類の適応戦略が大体分かっていただけたと思いますが、2章と3章で明らかになった、彼らが磯魚や底魚に比べて短寿命である理由の説明が残っています。小さなカタクチイワシが1年で生涯を終えるのは想像の範囲にあったとしても、あのサンマも1年のうちに成熟して生涯を終えることは想像外ではなかったのでしょうか。ほかの浮魚類も、5年以上生きる個体は群集のごく一部です。なぜ彼らの寿命は短いのでしょうか。寿命が短いのにこれほど資源量が多いのはなぜでしょうか。

第1回目に述べたように、海洋とりわけ外洋域は、基本的に貧栄養環境です。海洋生態系が安定的に存続するには、限られた量の栄養塩を何度も繰り返して利用するほかはありません。希薄な栄養塩を急速に摂取して有機物を生産し、その有機物を短時間で代謝して栄養塩を再生する仕組みは、海洋生態系の本質だといえます。そのために、微細な植物プランクトンと短寿命の動物プランクトンとの系ができたのです。このような生態系では、長生きして有機物を栄養塩に再生することを遅らせる生物は歓迎されません。魚類も例外

ではなく、外洋生態系で大きな群集を築くことを許されているのは小型で短寿命な種類です。長生きで大型になるジンベエザメやクジラもいて、50年とか100年とかの長期間にわたって大量の有機物を独占し、栄養塩の再生を妨げています。しかし、その総量を小型浮魚類に比べればほんのわずか、例外的な生物だということが分かります。海洋生態系は、動物プランクトンと協働して再生生産系を維持する動物として小型短寿命の多獲性浮魚類を選択し、その繁栄を歓迎していると考えべきです。前回の最後に、多獲性浮魚類がプランクトンとともに海洋生態系の維持に貢献している姿を紹介すると予告したのは、このことでした。

一方、沿岸浅海域には長寿命の磯魚や底魚がたくさんいます。それは、沿岸浅海域では海底で再生された栄養塩が容易に表層へ回帰するうえ、陸域からも栄養塩が絶えず供給されているからです。この環境では、生物が長生きして栄養塩物質を長く占有しても差し支えはありません。沿岸生態系が陸上生態系と似ているといわれるゆえんです。外洋域の生態系とは別の生態系なのです。

8 まとめ

今までみてきたように、多獲性浮魚類の顕著な特性は、小型短寿命ということです。資源学的にいうと更新性が高い生物だといえます。人間が育成したり保護したりしなくても、高い生産力を維持できるのは多獲性浮魚類の本質です。それは、海洋生態系が持続的に安定するために必要な特性であり、それゆえ生態系が系として選択してきた特性だといえます。すなわち、生態系の保証付きの自然力であるといっても過言ではありません。この特性は沿岸生態系の生物にはありませんから、資源の管理と利用の方法も沿岸域と外洋域とでは別であるべきです。

近年さまざまな魚類が養殖されるようにな

ると、漁業も農業と同様に文明的な産業にしなければならないといわれます。農耕が文明社会への道を開いたというのは歴史学の常識です。今もなお、農耕以前の原始的な狩猟時代のまま自然物を採捕している原始的な漁業には、将来はないという人もいます。確かに、栽培漁業とか養殖漁業には、便利な場所で、品質の揃った食材を安定的に生産できるなど、農業に通じる利点があります。しかし、農業が不可避免的に自然を破壊してきたように、養殖漁業には自然系と共生しにくいという、深刻な欠点があります。多獲性浮魚類の漁業に比べて文明的だとは、必ずしもいえないのではないのでしょうか²⁾。

多獲性浮魚類の生産力は生態系が保証する自然力、長い将来にわたる持続性を備えているのですから、狩猟時代のままに利用するのが賢明だと私は考えています。これからの100年間も、自然と共生する持続的な産業であり続けるでしょう²⁻⁵⁾。子供たちにも信頼してもらえる将来性です。この頼もしい将来性は、小さくてはかないように見えるプランクトンと短寿命の小型浮魚との協働で実現されています。このことを分かっていたことが本シリーズの企図でしたが、果たしてそれは成功したのでしょうか。

参考文献

- 1) 谷口 旭 (1981) 東北海区の低次生産の特性と漁場環境に関する一考察. 水産海洋研究会報, 39: 111-113.
- 2) 谷口 旭 (1996) 海洋環境と漁業資源の更新性—人類の将来に貢献する資源生態学の可能性. 農林水産技術研究ジャーナル, 19: 22-27.
- 3) Taniguchi, A. (1999) Differences in the structure of the lower trophic levels of pelagic ecosystems in the eastern and western subarctic Pacific. Prog. Oceanogr., 43: 285-319.
- 4) Taniguchi, A. (2004) Biological oceanography: the present revisits the past, pp. 35-43. In Marcos et al. (eds.) Ocean Sciences Bridging the Millennia, a Spectrum of Historical Accounts. UNESCO, Paris.
- 5) 谷口 旭 (2018) 水産業は農業に倣うことができるか、どこまで倣うべきか. 日本農学アカデミー会報, 30: 23-27.
- 6) 谷津明彦 (2014) 小型浮魚類とアカイカの資源動態と持続的利用に関する研究. 水産海洋研究, 78, 54-61.



中国の地図を作ったひとびと《11》

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》禹
 182号 中国の地図を作ったひとびと《3》劉徽
 184号 中国の地図を作ったひとびと《5》酈道元
 186号 中国の地図を作ったひとびと《7》僧一行
 188号 中国の地図を作ったひとびと《9》賈耽

181号 中国の地図を作ったひとびと《2》張衡
 183号 中国の地図を作ったひとびと《4》裴秀
 185号 中国の地図を作ったひとびと《6》祖冲之
 187号 中国の地図を作ったひとびと《8》竇叔蒙
 189号 中国の地図を作ったひとびと《10》李淳風

11. 沈括

(1) 概要

沈括^{しんかつ} (1031-1095) は北宋の科学者であり政治家で、杭州銭塘（現在の浙江省杭州）の人である（図1）。字を存中といい、夢溪大人と号した。

沈括は幼いころから向学心に燃え、14歳にして家にあるすべての蔵書を読み終えた。官吏をしていた父親について諸州・諸県を回り、泉州・潤州・簡州・汴京等の地を周遊しては直接社会に接して見識を広め、自然に対して強い興味と鋭敏な観察力をあらわした。皇祐3年（1051）に父親・沈周が死亡。至和元年（1054）亡父の位階による任官の恩恵を受けて、入仕して海州陰県の主簿を任され、治水事業を成し遂げ、農地を開発し、大変よい成績を上げた。工事が終ると沈括は職務を辞し、寧国県に住む叔父のところで科挙の受験準備をした。1061年に音楽についての著書《樂論》を欧陽修（1007-1072）に上呈して、大変評価されている。

治平元年（1063）に科挙に合格し校書郎（文書の誤りを正す役目）となって、宮中にある昭文館の書籍の校勘（文字の異同を調べること）にあたった。その後、天地を^{まつ}祀る儀式的次第《南郊式》をまとめた。慣例によって皇帝は3年ごとに天地を祀る円丘祭りを催す必



図1 沈括の肖像（中国測繪史による）

要があった。沈括は南郊¹大札の歴史的な沿革を考察して、《南郊式》を書きあげ、皇帝にとって重要なこの郊祀事を取り仕切る事務を掌握するように任命された。沈括は新たな礼儀や行事を企画して、担当所省や費用などすべての綿密な計画を立て、祭りの実施を滞りなく行ったので、神宗は大変満足であった。

熙寧2年（1069）に王安石（1021-1086）の政治改革が始まると、沈括は水利・灌漑などの政策実施を担当した。熙寧6年（1073）には提挙（宋代の役名には、提挙をつけたものが多い）司天監（国立天文台長）の任に当たって天体観測に従事して、熙寧8年（1075）

¹「郊」とは天地の祭りのことを言い、冬至には天を南郊に祀り、夏至には地を北郊に祀るのである。

には新暦の《奉天暦》を作った。しかし、これは施行されなかった。1074年には兵器廠長官も兼ねて、戦車の運用制度を研究した。翌1075年には特使として遼に赴き、同国との国境問題の交渉には万全を期して臨み、宋にとって有利に解決した。同年三司使(大蔵大臣)に就任したが、**王安石**が失脚すると、翌年の1077年には**沈括**も弾劾(官吏の罪状を暴いて責任を追及すること)・左遷された。1080年には延州(延安)の知事となり、西夏に対する防衛に功を上げた。

彼は広く世間に知られた博学多才な科学者で、天文や地理・音律・物理・・・などなど、通じない分野がないほどであった。著書は40冊近いが、その多くは亡失している。晩年になって役人をやめて隠棲したところで著した随筆集《夢溪筆談》(全て邦訳されている)は、科学技術・芸術・政治等広範にわたる貴重な内容を含んでいて、重要視されている。彼は世界の文化史上重要な位置にあり、“中国科学の里程碑”とされている。紹経2年(1095)、病気で亡くなった。享年65歳であった。

(2) 指南針から羅針盤(羅針浮針)の萌芽

中国の歴史では、指南儀器(磁気コンパス)としては、紀元前4世紀には天然磁石を使った原始的な浮針計(羅針盤のひな形)ができていた。前3世紀になると占いの文字盤と天然磁石を利用した磁気コンパスが使われていたが、海での利用は明確ではない。この間、いずれも天然磁石を使った磁気コンパスが多用され、海でも使われていたようだが、その使用時期を示す明確な記録はない。

宋代の11世紀中葉には石炭から火力の強いコークスが作られるようになって、その高温を利用した地磁気利用の人工的な磁化法が発明され、簡便で有効な指南針が多量に製作されるようになった。

慶暦4年(1044)《武経総要》の記事に、“葉のように薄く伸ばした鉄片—長さ2寸・幅5

分一を、魚の形にして石炭の火の上に置いて赤くなるまで熱し、火から取り出して尾を^お子の位置(北極)の方向に向け、水を張った盆の上に静かにおくと、尾の動きは数分後にはとまる。これを密封する”(《武経総要》響導篇)とある。鉄片を真っ赤になるまで焼き“尾を北極に向けて置く”というのは、鉄魚の内部でまだ活動状態にあった鉄の分子が、その時の地球磁場の方向に磁化されて磁針となることを示している。水に浸すことによって磁力が地球磁場の方向に規則的に配列・固定されて、磁針として使うことができるようになる。これは地球の強大な磁場の作用で、鉄片を人工的に磁化する方法である。できた磁針(鉄魚)を使用するときには“水を張った椀を無風のところに置いて水面に静かに浮かせると、その頭は常に^{うま}午(南:羅針版上の180度)を向く”とある(《武経総要》響導篇)。

嘉祐8年(1063)、**沈括**は実験的な基礎に基づいて磁針を、“水に浮かせて使う方法”、“指の爪や碗唇の上に置く方法”、あるいは“細い糸(沈括の原書には蚕の繭からとったばかりの絹糸と記されている)でつるす方法”など、数種類の磁針の利用方法を提案している(図2)。

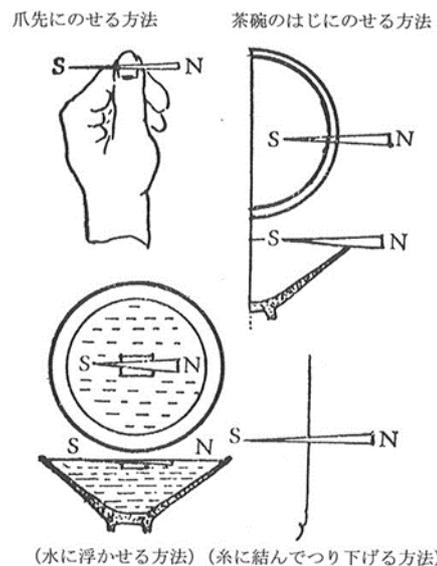


図2 沈括の4種の磁針の置きかた (金応春・丘富科編著 1884による)

水に浮かせた磁針は簡単に実用になるもので、“磁針を灯心—藺草^{いんそう}のなかご—に貫いて水の上に浮かすと、すぐに南を指す。しかし、丙位に偏っている”と沈括は記している。そこで、指南針の航海や測量における利用技術的の基礎を確立したのである。このことは彼の著書《夢溪筆談》に詳しい。このような沈括の磁針の基本的な利用についての考えは、すぐに占いの羅盤と結びついた羅針盤や地磁気測定儀器へと援用されていった。沈括自身が指針浮針が航海で使われたと記しているわけではないが、羅針盤が航海用に使われたのは、1100年以前であることは、朱彧^{しゆゐく}（?—?）の著書《萍州可談》^{（ひんしゅうかたん）}（1117）の記述から明らかになっている。

なお、水浮法による円形方位盤（風水など、古来、占いに用いられていた円盤）と組み合わせた針盤は、早期の海上航行に用いられた初期の羅針盤である。《Britanica Concise Encyclopedia》にも“羅針盤は中国人が最も早く発明したもので、1100年にはすでに海上で使用されていた”とある。

（3）地磁気の偏角の発見

沈括は《夢溪筆談》に“法家は磁石で針を研磨して指南儀とするが、これは完全に南を指すわけではなく、わずかに東に偏っている²”と記している。これは、磁北は正しい天球の真北ではないという、磁針の偏角現象を世界で初めて発見した結果の記述である（図3）。このことは、その後の羅針盤を使つての航海の安全と航行方位（針位）や正しい位置決定に大きく貢献した。

熙寧5年（1072）、沈括は提挙司天監になると、その主幹を務めて、機構改革に尽力した。天体の実測や天文儀器の改良に力を入れて、日・月・五星（五つの惑星）の動きを観測し、

²現在、われわれは地磁気の偏角をいうとき、北を中心に「西へ〇度偏っている」というが、古代中国では、皇帝の座る方向など常に南を中心というから、「東へ〇度偏っている」という表現になる。

曆法を改定した。彼は自ら設計・作成した窺管（望遠筒：このころまだレンズは発明されていない）を用いて真の天の北極を探した。観測の初めには、窺管を通して北極星を見ることができても、窺管の大小によって、北極星はすぐに移動して視野から外れてしまうことがわかったので、窺管の口径を次第に大きくしていった、北極星が移動して視野から消失しない窺管を自ら設計し、これを用いて3か月以上にわたって北極星を連続観測した。観測するとき常に視野図を描き、北極星が視野に侵入してきた夜の始め・真夜中・夜明け前と、それぞれの位置での視野図を合計200枚以上描き、北極星は確実に天の北極をめぐる1顆の恒星であることを明らかにした。こうして得られた成果によると、当時の天極から極星（北極星）のずれの角距離は、約3度あまりの値であった。つまり、北極星も真北からずれたところにあり、年とともに少しずつ移動することが明らかになったのである。

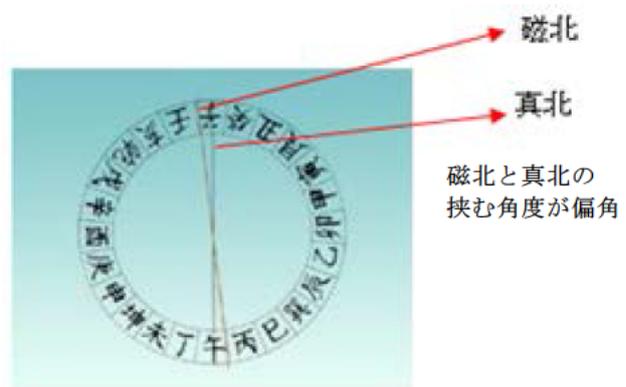


図3 地磁気の偏角の説明（“百度”に加筆）

《宋史・天文志》は、沈括が“臣^{わたくし}がさらに、3ヶ月にわたって観察した結果を考えますと、天中の不動のところ（天球の北極）は、極星（北極星）から3度余り離れたところにあります。つまり、祖^そ匡^{きやう}による推測結果を、さら十分に詳しく測定したことになります”という所見を記載している。

1, 250年前後に出たフランスの科学問答を書いた書物《Sydrac》の中にやっと極星移動

の記載がある。また、沈括の偏角発見は、コロンブスが大西洋横断の際に磁針の偏角現象を発見したのよりも、400年以上も早い。

(4) 《守令図》の作成

《守令図》は沈括の請願を宋の神宗・趙頊が批准して、作成の運びとなった。沈括は晏殊が天聖4年(1026)に作った《十八路図》が精確さに欠けるのを常々不満に思っていた。当時北宋は遼と河東路(山西省)の境界をめぐって争っていたが、沈括は晏殊の《十八路図》が満足に要件を満たしていないために、熙寧7年(1074)に自ら枢密院の大量の地図と文書を調査し、さらに辺境図を描いて根拠として示して、遼国との国境問題で直接談判に出向いて、勝利を得ることができた(詳しくは後述)。このため彼は、この時自分で描いた地図を《守令図》と呼ぶように要請した。ただ、残念ながらこれは亡失している。

《守令図》は、裴秀の“制図六体”の地図作成方法に従って国中の州・県・辺境と河渠の変遷など、すべての資料の距離表示は直線距離による値を採用した。彼は“・・・東西南北四至の里数があっても、それらはすべて道路を通しての歩数(道路沿いの距離測量値の意)である。道路には曲直があつて一様ではなく、それらを並べて地図を作つても、その里数と歩数とは正確には対応しない。しかし、あたかも鳥が空中を直線的に飛ぶときのように表示すれば、山川の凹凸や道路の屈曲による誤差は無くなる”と考えていた。

沈括の直線距離表示については、《夢溪筆談・補筆》にも“かつて私は《守令図》を作つた。2寸を100里に換算する分率(縮尺)と准望(方位)、互いに相互依存する方邪・迂直の方法をもって、飛鳥の数を取り入れた(直線距離の数値を求めた)”という説明がある。このように沈括の《守令図》ではすでに縮尺を用い、方位が示され、任意の2点間の相対的な高さの差(比高)、地面の起伏と傾斜・道

路の曲直などは、直線距離をもって取得できたことを記している。

こうして12年間の努力のすえに作成された《守令図》は、大小合計20幅の地図からなる。全国を示す大図1幅の大きさは幅高さともに1丈(10尺)の大きさであり、それと小図1幅、18路(路は当時の行政区画名)に分けた各分図がそれぞれ1幅ずつあった。また、沈括が作成した《守令図》の測図の方位は24方向にまでに増えていた。その後、南宋時代になると方位の表示はさらに細かくなり、48方位を示した羅針盤が使われ始める。

なお、沈括が陝西省にいて地図の編集をしていた時期と、《禹跡図》³(図4)作成の時期とは一致する。晩年は鎮江に居住したものの、著書《長興集》の中で自ら編集した地図への言及と《禹跡図》の特徴が一致すること、西安にある石刻地図《禹跡図》などの状況分析から、《禹跡図》は沈括がかつて住んでいた陝西から鎮江にいたる地域の地図である可能性がある。専門家の研究・考証によると、《守令図》のなかの小図が《禹跡図》ではないかと考えられている。《禹跡図》の測量精度は、作成年がこれより早い《華夷図》より明らかに高いことから見て、上述の推測は確度が高いものと思われる。



図4 沈括作成の可能性がある《禹跡図》 - 大変精度が高い(西安碑林博物館所蔵のもの)

³ 《禹跡図》と《禹迹図》の内容はほとんど同じである。西安の碑石博物館のものは《禹跡図》、鎮江博物館のものは《禹迹図》という題名があるが、前者が原図と考えられている。

(5) 《使契丹図抄》の作成

この地図は《使遼図抄》とも称される。沈括が熙寧8年(1075)に作成したものである。熙寧7年(1074)4月、遼国は、北宋と黄坼地域の境界問題について談判するために枢密院副使・肅素を北宋に派遣した。8年3月に遼の肅禧が北宋を訪れ、黄坼地域は遼の所領であるという主張を堅持して帰国した。沈括は枢密院行って資料を綿密に調査・校閲したところ、当時の協議資料の結果は長城を兩國の境界とすることになっており、今論争している地域は長城の南30里のところであることが明らかになった。宋の皇帝・神宗趙顥は沈括に当時の国土界図を遼の使節の肅禧に見せてやるように命じ、肅禧はやっとその地図を見て理に屈した。皇帝・神宗はこの発見に対して白金千両を賞賜した。

沈括はこのことに感謝して、自ら遼国に向いて遼政府に説得してくることを申し出た。こうして神宗は沈括を正使として遼国に派遣した。沈括は随行者に前もってよく談判のための資料を準備しておくように命じて、遼の宰相・楊益戒と境界問題について話し合った。彼は前後6回にわたって議論の矛先を向けると、楊益戒はそれに全く異論を唱えることができなかった

沈括は遼国での談判に勝利をおさめると、帰国の途中でさらに測量を行った。その時作成したのが《使契丹図抄》である。だが、この地図はすでになく、史書の記載も簡単なもので、“その図には山や川・陰易・迂直などがある”と8文字で示されているにすぎない。しかし、沈括は宋代の傑出した科学者で、特に測量を深く研究しており、彼が作成した《使契丹図抄》はありきたりの調査で描いた草図ではなく、以上のような日つきの内容のある地図なのである。

(6) 立体模型地図の作成

立体地図の作成は宋代に始まったものでは

ないが、宋代には立体模型図の作成が盛んになり、使用された材料が多種にのぼるのは空前のことである。

沈括は立体地図模型の製作を研究し、多種の材料を使っていろいろの形式の地図模型を製作した。彼は木に彫った地図の模型を神宗・趙顥に贈呈して、大変な賞賛を受けた。帝はこの種の辺境地域の模型地図の製作を広めるように辺境の州に下命した。沈括は《夢溪筆談》にこのことを“私は巡察の勅命を受けて辺境地域を調査し、初めて木図を作って山川や道路を写しだした。それは、まず詳細に山脈や河流を踏査し、次に麵糊と木屑でその地形を板に写しだしていく。凍るような寒さで木屑が使えなくなると、蠟をとかして作製した。いずれも軽くて持ち運びに便利なためである。役所に戻ると、木に刻んでこれを帝に献上した。帝は側近たちを召されて一緒にご覧になり、辺境の州に命じてすべて木図を作らせ、宮中に収めさせた”と記している。

この詳細な記述は地図模型の試作過程をよく表している。《宋史》は、沈括が模型を製作した時期と地図にあらわした具体的な地点については記述していないが、史書の記述によると、熙寧7年(1074)沈括は河北西路北部察訪使の任にあつて、辺境の備えについて旧政の31条について改革すべきことを講修している。その治所、さらには“辺境地帯への侵攻を防ぐために、木図を製作した”という記載から、沈括の地図模型製作の時期は熙寧8年(1075)前後、地図模型で示した地域は、河北西路北部と遼国と国土を接するあたりの辺境(今の河北省溝城・阜平の線付近)の可能性が高い。

沈括の地図模型は大きな反響を呼び、当時、各辺鎮ではその製作方法を習うように命じられただけでなく、続いて、著名な学者たちが次々にその作品をまねて作成した。《玉海》の記載によると、《地理図》を作成した黄裳(1146 - 1194)は、《輿地図》の木製模型を製

作したという。

(7) 正確な高低差の測定 (水準測量)

宋代の治水官には、該博な知識を持った者が多かった。河川の治水管理は、科学的な測量数値にもとづく必要があったため、彼らの持つ正確さと緻密さが利点として求められたのである。沈括が熙寧年間(1068-1077)に汴京(今の河南省開封市)の治水管理の任にあったとき、従来水準測量手法で長距離の水準測量をやると誤差が積算されて大きくなるため、水渠(運河)をいくつかに分段(区間分け)して、水平になった水面の高さを直接正確に測量する方法を採用して、泗州(今の蘇州盱眙県)から汴京まで正確に高さの差を測ったことなどがそうである。彼の著書《夢溪筆談》には、“京師(天子のいるみやこ)上善門から泗州の淮河の河口まで約840里120歩(約465km)の間の水準測量を行った。その結果、地勢は京師に比べて泗州の方が19丈4尺8寸6分(59.861m)高いことが分かった”と記載されている(図5)。

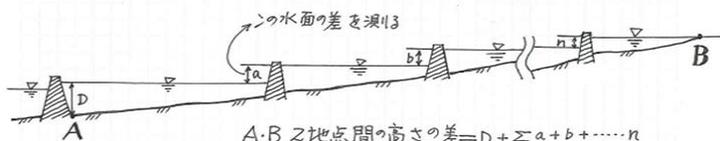


図5 沈括が実施した長距離の正確な水準測量方法

(8) 数学上の業績

(8.1) 隙積術

隙積術とは、米や土・砂などを積み上げたときの体積をいかに計算するかということを目指し、沈括は類比を運用した帰納法的方法による体積算出公式が基礎をなし、不連続な個体の累積数を求める方法で連続全体の数値を求める方法である(図6)。これは、すでに連続模型を用いた離散問題の思想を持っている。中国の数学史上、南北朝時代から停滞することなく、等差級数の和を求める問題は発達してきた。さらに沈括は、等差級数の中国

の隙積術(積み上げた土の土量計算手法)の研究の先端を担ってきた。南宋の数学者・楊輝(?-?)⁴や元の数学者・朱世傑(?-?)⁵は、この沈括の基礎の上に研究を一步進めて、世人が瞠目するような成果を収めたのである。

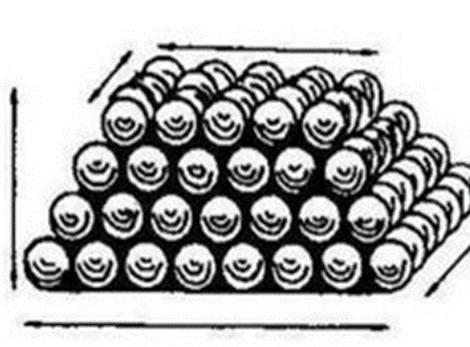


図6 隙積術の説明図(“百度”による)

(8.2) 会円術

会円術とは、円の弦から弧長を求める方法を指す(図7)。その主要な考え方は、局部一つまり円の一部を直線で切り取った部分一である円の弧に対する関係から導かれる、一つの比較的実用的な近似公式である。中国の数学史上、沈括は一個の弦を利用して弧長の近似値を求める方法をみいだした。この方法の創立は、平面幾何学の発展を促進しただけでなく、さらに、天文計算の中では、重要な役割を果たし、球面三角学の発展に重要な貢献をなした。

会円術は、後世では元の郭守敬(1231-1316)や王恂(1235-1281)等のすべてが用いた会円術として、広範な応用がなされるようになった。

⁴南宋末期は中国の歴史上、数学がもっとも発達した時期で、楊輝は多くの著書を著し、没後の1378年に《楊輝算法》がまとめられ、日本にも入ってきている。

⁵朱世傑が著した《算学啓蒙》は、宋から元にかけて発達した中国数学の集大成となっている。

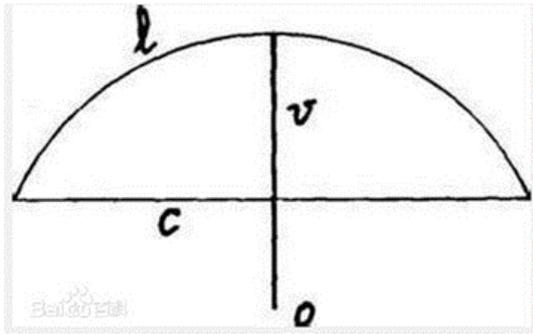


図7 会円術の説明図（“百度”による）

（9）名著《夢溪筆談》

沈括の晩年の随筆風の著書で、26巻と《補筆談》3巻、《総筆談》1巻からなり、全部で17項目・609条に分かれている。内容は、天文・数学・物理・化学・生物・地質・地理・測量・潮汐・気象・土木技術・医学・文学・史実・音楽・美術など広範にわたる。この本では科学技術の項目が3分の1以上を占め、測量・地図関係の記述もかなり詳しい。沈括は晩年（11世紀80年代）には潤州の夢溪園（今の江蘇州鎮江市東）に住み、日ごろ研究実践したり見聞きしたりしたことなどを書きとめた。それらをまとめたものが、彼の住んでいた夢溪園という地名から《夢溪筆談》という書名になったものである。我が国でもすべて翻訳されている。

参考文献

- 1) ジョセフ・ニーダム（東畑精一ほか日本語監修）：中国の科学と文明 第1巻—第11巻 思索社 1991
- 2) 金応春・丘富科編著：中国地図史話 科学出版社 1984（中国語）
- 3) 沈括（梅原郁 訳注）夢溪筆談（1） 東洋文庫 344 平凡社 1995
- 4) 沈括（梅原郁 訳注）夢溪筆談（2） 東洋文庫 362 平凡社 2007
- 5) 沈括（梅原郁 訳注）夢溪筆談（3） 東洋文庫 403 平凡社 2007
- 6) 中国測繪史編集委員会 中国測繪史 測繪出版社 2,002（中国語）
- 7) 今村遼平：中国地図測量史 6）の翻訳本 自費出版 2015
- 8) 中国のインターネット“百度”（中国語）

☆ 健康百話（67） ☆

—症状から病気へ②⑤ 発疹を伴う発熱—

若葉台診療所 加行 尚

1 はじめに

最近になって、大人の麻疹(はしか)や風疹の発症がみられるようになり、ワクチンの接種が話題になっています。

発疹を伴い発熱を来す疾患は極めて多いのですが、このような場合には、重症感染症が隠れていることが有ります。その病気を見逃さない為に、またその病気を他の人に移さない為にも私達は注意して行かなければなりません。今から暑い夏の気候になりますし、また諸外国へ旅行をされる方も多くなることでしよう。今回は「発疹を伴う発熱」について考えてみたいと思います。(表1)

表1 用語の定義

斑	限局性の皮膚色の变化をいう。その色調から紅斑、紫斑、色素斑、白斑などに分類される。
丘疹	半球状の限局性の隆起性病変。
結節	充実性の皮膚の隆起で通常1cm以下
水疱	透明な水様液の内容物を有する。
膿疱	細菌感染などにより水疱内容は混濁し、白血球を含む。
嚢腫	真皮内の空洞で上皮により囲まれ
膨疹	限局性の境界明瞭な扁平隆起で真皮に一過性の浮腫をみる。

文献2) : 134頁より

2 病態生理

感染症による場合には次のようなものがあります。

- ① 微生物が皮膚の局所に感染し、そこで増殖：連鎖球菌による蜂窩織炎など。
- ② 皮膚に加えて粘膜でも増殖：単純ヘルペスなど
- ③ 毒素(トキシン)が産生され、それによって皮疹が出現：猩紅熱、緑膿菌感染症、トキシンショック症候群、ブドウ球菌性熱傷様皮膚症候群など。
- ④ 宿主の免疫担当細胞による炎症性反応
- ⑤ 血管への作用：血管閉塞による壊死や血管拡張による充血やうっ血など。

3 注意すべき随伴症状

- ① 関節痛または関節炎
成人スチル病、全身性エリテマトーデス(SLE)なども考慮する。
- ② リンパ節腫脹
全身性のリンパ節腫脹がある場合には急性HIV感染症やII期梅毒のことも考慮。
- ③ 髄膜刺激症状(仰臥位で頭を持ち上げようとすると、首が硬くて頭を持ちあげることが出来ない症状)
一般的な髄膜炎の起炎菌のほか、レプトスピラ症も重要な鑑別疾患となります。
- ④ 皮膚剥離
トキシックショック症候群、薬物過敏、川崎病、スティーブンス・ジョンソン症候群、中毒性表皮壊死剥離症などの鑑別が必要です。

4 発症の経過

① 旅行歴

これは重要なことです。いつ、どこに、何をしに、誰と言ったかを詳細に主治医に報告してください。

② 旅行前に必要なワクチンを打ったか。

③ 現地で飲食物、水や土との接触、虫刺され、性行動、宿泊地、宿泊施設、行動時間・範囲など。

④ 薬剤歴など。アレルギー歴及び最近の30日間くらいの間に新しく服用し始めた薬はないか。サプリメントや民間療法薬など。

⑤ ペットを飼っているか、動物との接触はないか。

私も医師は、発疹を伴う発熱のある人を診る時には、重症感染症を見逃さないために、

またその疾患を他の人に移さないために、そして公衆衛生上の観点から、①経路別感染予防策が必要か、②性行為感染症の可能性（HIV感染症など）、③バイオテロの可能性はないか、等を考えながら拝診いたしますので、その節には宜しくご協力下さいますようお願い致します。（表2）

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) 日本医師会学術企画委員会(監) 上島国利、鴨下重彦(編)：症候から診断へ 第4集：日本医師会 2001

表2 発熱+皮疹を呈する注意すべき疾患・特徴

重症感染症	<ul style="list-style-type: none"> ・髄膜炎 ・急性感染性心内膜炎 ・トキシックショック症候群 ・敗血症 	
経路別予防策が必要な疾患	空気感染予防策	<ul style="list-style-type: none"> ・麻疹 ・水痘 ・播種性帯状疱疹
	飛沫感染予防策	<ul style="list-style-type: none"> ・風疹 ・髄膜炎（起因菌が判明し、治療24時間後まで） ・ウイルス性出血熱
	接触感染予防策	<ul style="list-style-type: none"> ・乳幼児の癩・癬 ・膿痂疹 ・SSSS ・初発の単純ヘルペス皮膚・粘膜感染症 ・水痘 ・播種性帯状疱疹 ・多剤耐性菌 ・ウイルス性出血熱
性行為感染症	<ul style="list-style-type: none"> ・性活動が活発（特に不特定多数や男性同性愛者） ・性行為感染症（梅毒、A型肝炎、B型肝炎など）の既往 ・HIV陽性者によくみられる疾患（帯状疱疹、伝染性軟属腫、脂漏性皮膚炎など）の既往 	
バイオテロ	<ul style="list-style-type: none"> ・今まで診たことがない ・奇妙な感じ ・突然同様の症状の患者が複数出現 	

SSSS: staphylococcal scalded skin syndrome (ブドウ球菌性熱傷様皮膚症候群)

海洋情報部コーナー

1. トピックスコーナー

(1) 測量船「明洋」一般公開（第71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71回東京みなと祭』に参画し、5月18日(土)、測量船「明洋」(総トン数550トン、全長60m)を一般の方に公開しました。

測量船「明洋」は、様々な測量機器・観測機器を装備しており、海図作製のための測量や、防災・海洋環境保全等のための海洋調査に従事しております。

一般公開では、観測室に1/5スケールの「AOV(自律型海洋観測装置)」をはじめ西之島の岩石を展示し、観測準備室には海底基準局など実際に使用している観測機器の展示をするなどして、海洋情報業務を紹介しました。また、操舵室等も公開し、多数の方に船内を見学していただきました。



観測準備室見学の様子



観測室見学の様子



操舵室見学の様子

また、岸壁のテント内に、パンフレットブースを設け、測量船「明洋」の解説リーフレットや海洋情報部パンフレットなどを、多数の方にお持ち帰りいただきました。さらに、乗船待ちの方には 3D 海底地形図マットをご覧くださいました。



3D 海底地形図マット見学の様子

当日は一時雨が降り出すこともありましたが、おおむね天候にも恵まれ、約 1,800 名の方に乗船していただき、測量船をはじめ海洋情報部の仕事への理解を深めていただけたと思います。海洋情報部では、今後も様々な機会を活用し海洋情報部の仕事を国民の皆様幅広くご理解いただけるよう、測量船の一般公開を実施していきますので、機会があれば足をお運びいただけたら幸いです。

(2) 最低水面の地球楕円体からの高さを公表

(本庁 海洋情報部)

海上保安庁では、海図に記載している水深や水路測量の基準となる最低水面について、東日本大震災の経験を踏まえ、大地震発生後の水路測量の早期開始のための取組みとして、災害の影響を受けない地球楕円体からの高さ「最低水面の楕円体高」を平成 31 年 3 月 8 日から公表しています。

東日本大震災の際には、最低水面と高さの関係付けをしていた陸上の標が地盤変動や岸壁の破壊等で使用できなくなり、その地の最低水面が基準として使えなくなりました。そのため、その地の最低水面がどの高さにあるかを再度決定するために各地で 1 ヶ月以上の潮汐観測を要しました。

今回、公表を始めた「最低水面の楕円体高」を使用することにより、大地震による地盤変動等で港湾の地形が大幅に変化した場合にお

いても、現地で 5 時間の GNSS 測量を行うだけで再びその地の最低水面を基準として利用できるようになります。

海上保安庁では、平成 28 年より各地で GNSS 測量を進めており、今回、名古屋港、大阪港及び神戸港などの主要な港湾について公表を始めました。今後も全国各地の「最低水面の楕円体高」を決定し、順次公表してまいります。

日本各地の公表値はこちら（平均水面、最高水面及び最低水面一覧表）

<https://www1.kaiho.mlit.go.jp/KANKYO/TIDE/datum/index.html>



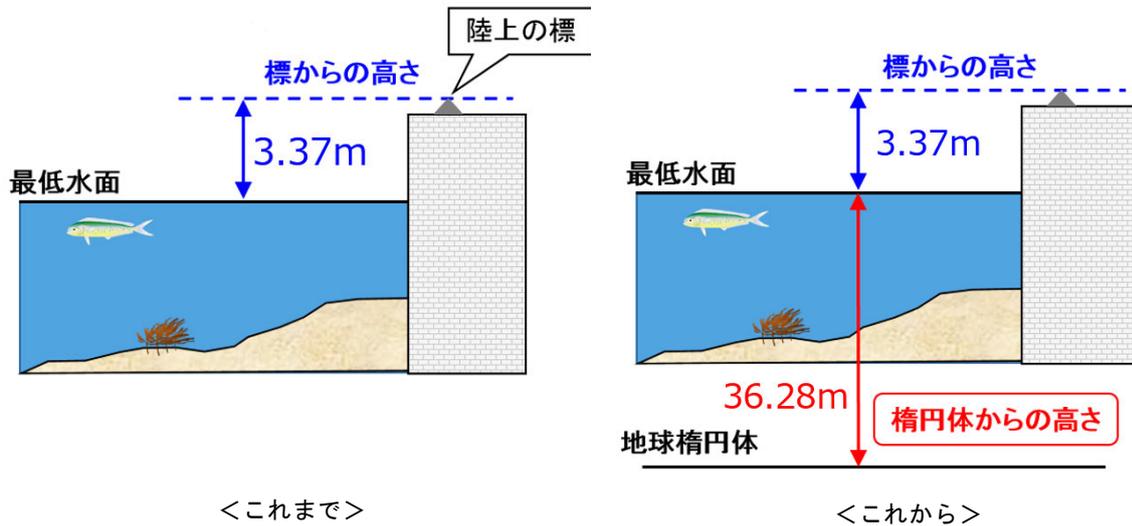
平均水面、最高水面及び最低水面一覧表

新たに公表する値
「楕円体高」

地名 または 港名	基本水準標等		最低水面						最高 水面	
	所在	位置		採用調 査年月	最近調 査年月	基本水 準標等 下m	平均 水面下 (Z ₄)m	TPT m	楕円体 高m*	平均 水面上 m
		緯度(N)	経度(E)							
<記載例> 神戸	メリケン波止場の神戸駿潮所付近にある気象庁BM頂	34-40-56.3	135-11-25.0	平20-10	平30-9	3.37	0.95		36.28	0.95

* 最低水面の楕円体上の高さは、最低水面の基本水準標等下の高さの記載が無い場合に標を仮説して使用する用途または基本水準標等を再建する用途にのみ使用することができる。

<平均水面、最高水面及び最低水面一覧表（イメージ）>



(3) 海洋状況表示システム（海しる）運用開始

(本庁 海洋情報部)

平成 31 年 4 月 17 日、海上保安庁では、“海の今を知るために”をコンセプトに、さまざまな海洋情報を地図上で重ね合わせ表示できる WebGIS サービス「海洋状況表示システム（愛称：海しる）」の運用を開始しました。

当システムは、国土交通省「生産性革命プロジェクト」における海洋ビッグデータ

を用いた海洋情報革命の中心となる海洋分野データプラットフォームであり、さらには、政府全体で推進している「海洋状況把握 (MDA: Maritime Domain Awareness)」の能力強化に資するシステムと位置づけられ、関係府省庁等が保有する様々な海洋情報を集約し、提供する先進的な WebGIS サービスです。

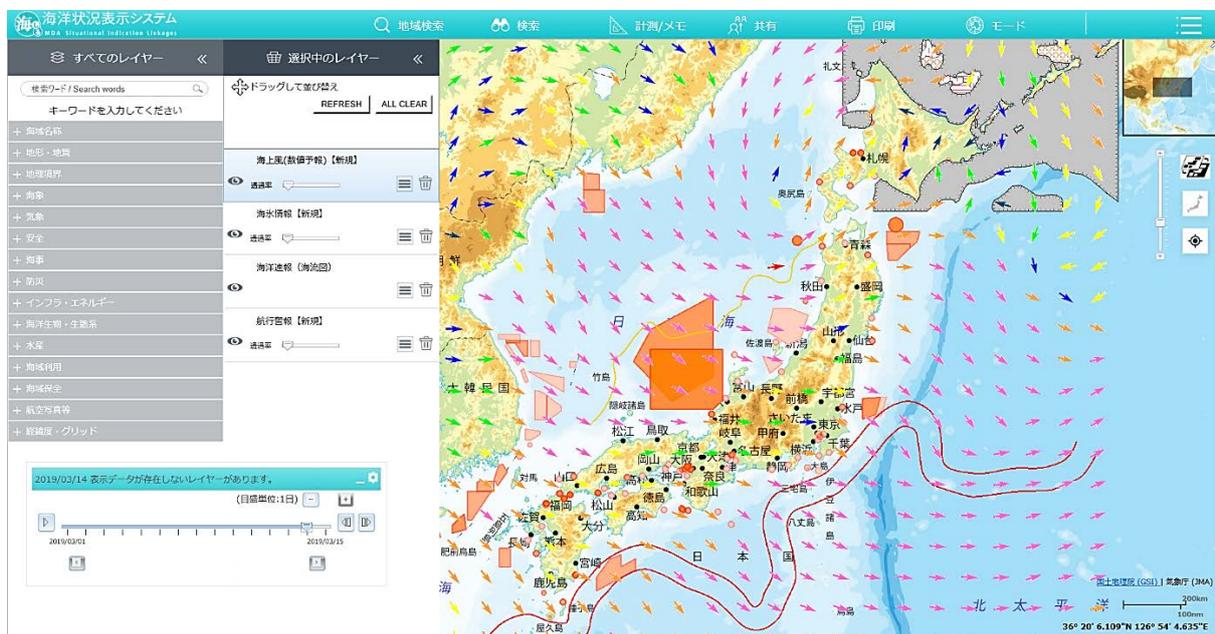
「海しる」は、全世界の「グローバル情報」の「リアルタイム表示」が特徴であり、海上保安庁と国内外の関係機関の連携により、「今」の気象衛星ひまわり画像、天気図、降水情報、海面水温、流況・波高、海域地震関連情報や地理院地図、海底地質図など200項目以上の情報が表示可能です。従前の日本周辺のローカル情報を非リアルタイム表示する情報提供システム「海洋台帳」を進化発展させたものであり、これまで提供してきた、油汚染防除に関連する情報や、航行警報等の安全情報を内包しており、海の安全に資する情報を引き続き提供するとともに、自然災害対策、海洋産業振興、海洋環境保全など多様な分野での活用を想定しています。

「海しる」の運用開始に先立ち、同日、海洋情報部において「運用開始式」を執り行いました。式には、多数の政府関係機関の皆様ご臨席の中、石井啓一国土交通大臣

が「海しる」の「始動ボタン」を押下すると、華やかなファンファーレと拍手に包まれながら「海しる」の運用が開始されました。謝辞として、岩並秀一海上保安庁長官が運用開始にかかる関係府省庁等への感謝と情報の充実や活用の利便性の向上についての決意を述べ、閉会となりました。



海しる運用開始式



海しるの表示画面の一例

(出典：海洋状況表示システム (<https://www.msil.go.jp/>), 情報提供元：国土地理院、気象庁、海上保安庁)

2. 国際水路コーナー

(1) 第25回国際海洋データ情報交換 (IODE) 委員会

日本 東京
海上保安庁 海洋情報部
平成31年2月18日～22日

2月18～19日の間、UNESCO 政府間海洋学委員会 (IOC) が推進する持続的開発目標に向けた海洋科学のための国連10年計画に、IOC の推進する国際海洋データ情報交換 (IODE) システムがいかに貢献すべきか、将来の IODE の役割を検討する科学カンファレンスが、40カ国から各国代表者、国際関係機関代表者、専門家約140名が参加し、東京都千代田区のイイノホール&カンファレンスセンターで開催されました。

科学カンファレンスでは、海洋データ情報基盤はすべての海洋活動の基盤を成すもので、IOC が推進する IODE の取り組みの重要性を再確認するとともに、国連海洋科学の10年では、これまで以上に、政策決定者や産業界、関係国際機関など様々な関係者との連携の強化が不可欠であり、連携の実現に向け海洋データ・情報の相互利用の理解促進、ノウハウ・知見の共有、海洋データ情報管理にかかる能力の向上に関する取り組みとこれらの活動を実現するための資金の確保が重要であることが確認されました。

科学カンファレンスに引き続き、IODE に関する第25回委員会 (IODE25) が、2019年2月20日から22日に開催され、2017年3月に開催された IODE24 以降の IODE の活動及び予算執行状況、係る国際的な動向について意見交換を行うとともに、今後の IODE の計画、2カ年予算及び活動計画の採択を行い、共同議長の任期満了による新共同議長の選出が行われ、ロシアの Dr. Sergei Belov 及びオランダの

Mr. Taco de Bruin が満場一致で選出されました。

IODE では、科学カンファレンスでの結果を受け、国連10年計画への対応について、会期間の作業部会を設置し具体的な対応について検討することとなりました。

また、国連10年計画に貢献し、全 IOC プロジェクトを支援するため、海洋観測や海洋データ管理、成果物及びサービス等に係る優良事例を収集し共有する、海洋優良事例システムプロジェクト (OBPS) を立ち上げることが決定され、IODE24 から検討を進めている将来の海洋データ情報システム (ODIS) について、利用可能なデータソースのカタログ情報を収集から開始することとし、そのための ODISCat プロジェクトを立ち上げることとなり、各国にインターネットを通じて提供されている海洋データ情報のサービスの登録が要請されました。

また、IODE25 の会期期間中、JODC 所長に IODE 品質管理制度認定書の授与が行われました。IODE では、2013年から、各データセンターのサービス向上及び利用者の信頼獲得を目的に、ISO9001 に準じた品質管理のデータセンター認定制度 (QMF) を開始しており、

JODC でも QMF 認定に向け、各機関の調査・対応状況等調査を行い、JODC におけるデータ管理体制・処理手続き等の対応の改善を実施し、2018年8月に申請を行ったもので、現在96データセンター中、JODC を含め10データセンターが認定されています。

次回 IODE 委員会は、2021 年 3 月頃ポーランドのソポトで開催される予定です。



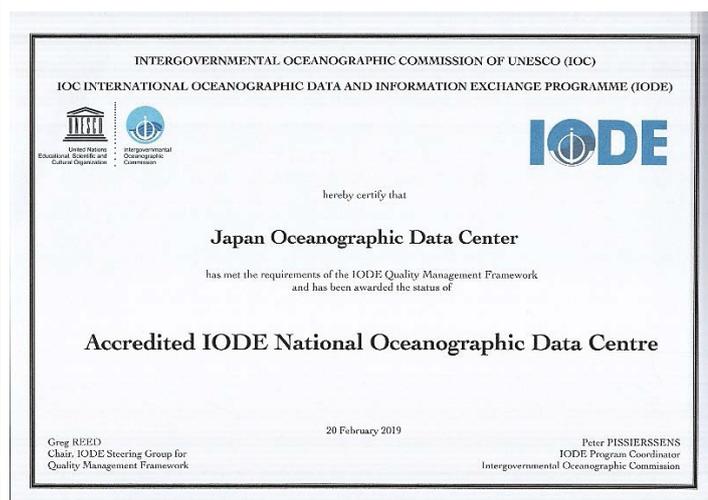
科学カンファレンスの様子



IODE25 参加者



QMF 認定書の授与



QMF 認定書

(2) 第46回天然資源の開発利用に関する日米会議海底調査専門部会 (UJNR/SBSP)

日本 東京
海上保安庁 海洋情報部
平成31年3月12日～14日

平成31年3月12日から14日の3日間、合同庁舎4号館において、46回目となる天然資源の開発利用に関する日米会議海底調査専門部会(UJNR/SBSP)が開催されました。本会議は、日米間の天然資源の分野での情報・技術資料等の交換、専門家の交流を図るため、昭和39年に設置されたUJNRの枠組みの一つで、特に海底調査を専門とする部会として毎年1回日米相互に開催しています。

今回の会合では、NOAA 沿岸測量部のスミス部長、ニューハンプシャー大学共同水路センター所長のアームストロング氏ら、総勢7名の米国代表団が参加しました。また、我が国からは、加藤海洋情報部長を団長として、総勢23名が参加しました。

会合では、我が国から、測量船「平洋」やAUV (Autonomous Underwater Vehicle) 「ごんどう」の紹介、海底地殻変動観測等について発表を行いました。また、米国からは、NOAAの次世代 ENC、ニューハンプシャー大学の自

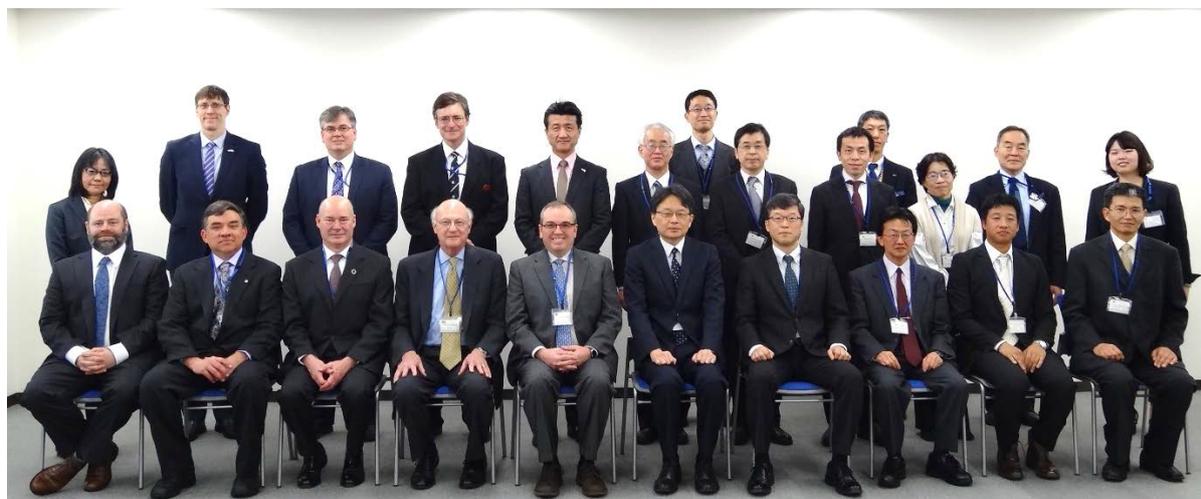
律型システムの開発、海図作成の取り組み等について発表がありました。

最終日には、テクニカルツアーとして、横浜にある海上保安資料館及び東京湾海上交通センターの見学を行いました。米国参加者は、輻輳する東京湾の船舶の実態と管制業務を興味深く確認していました。

次回は、米国で、第47回会合を開催する予定となっています。



会合の様子



集合写真

3. 水路図誌コーナー

平成31年4月から令和元年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 (<https://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	発行日等
改版	W 1 2 3	阪神港大阪	12,000	全	2019/4/12
		安治川接続図	11,000		
改版	J P 1 2 3	HANSHIN KO OSAKA	12,000	全	
		CONTINUATION OF AJI KAWA	11,000		
改版	W 1 1 0 7	阪神港尼崎西宮芦屋	11,000	全	
改版	J P 1 1 0 7	HANSHIN KO AMAGASAKI-NISHINOMIYA-ASHIYA	11,000	全	
改版	W 1 1 4 8	阪神港大阪東部	5,500	全	
改版	W 1 2 2 7	博多港	12,000	全	
改版	J P 1 2 2 7	HAKATA KO	12,000	全	
改版	W 2 4 0	渡久地港付近	10,000	全	
改版	W 1 2 1 9	別府湾	35,000	全	
		(分図) 別府港	10,000		
改版	W 9 4	四日市港	15,000	全	2019/5/17
改版	J P 9 4	YOKKAICHI KO	15,000	全	
改版	W 1 0 3 3 A	苫小牧港西部	10,000	全	
改版	J P 1 0 3 3 A	WESTERN PART OF TOMAKOMAI KO	10,000	全	
改版	W 2 4 1	金武中城港中城湾新港	12,000	1/2	2019/5/31
改版	W 1 1 1 7	尾道糸崎港糸崎	10,000	1/2	
改版	W 1 3 5 6	西之島	25,000	1/2	
改版	W 6 5	八戸港	12,000	全	2019/6/14
改版	J P 6 5	HACHINOHE KO	12,000	全	

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。

一般財団法人 日本水路協会 第25回理事会開催

令和元年5月21日（火）、東海大学校友会館において、第25回理事会が開催されました。

○理事会（11時～12時）

- 1) 平成30年度事業報告及び決算報告について
- 2) 平成30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10回評議員会及び第26回理事会開催

令和元年6月21日（金）、東海大学校友会館において、第10回評議員会及び第26回理事会が開催されました。

○評議員会（16時30分～17時50分）

- 1) 平成30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) 理事の改選について
- 4) 報告事項（平成31年度事業計画及び収支予算について）
- 5) 〃 （平成30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）

水路業務功績者表彰

令和元年6月21日（金）、東海大学校友会館において、平成30年度水路業務功績者の表彰を行いました。

- 多年にわたり海洋調査業界において、その優れた技術をもって水路測量業務に従事し、水路業務の発展に寄与した

オーシャンエンジニアリング株式会社
海陸測量株式会社
株式会社ハンシン
株式会社ハンシン

栗原 則男 氏
松井 永親 氏
大村 輝夫 氏
志茂 啓司 氏



2019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令和元年4月8日～19日のうちの土・日曜日を除く10日間、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。

また、本年度からの2級水路測量技術研修は「港湾級」のみとなりました。

1. 講義科目と講師

（港湾級）

- ・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]
- ・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〈東京晴見埠頭前海域〉、データの解析）
[(株) 海洋先端技術研究所]
- ・水深測量（測深：高さの測定、海岸線測量、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）[岩本 暢之]
- ・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、資料の作成、デジタル測量成果）[岩本 暢之]
- ・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]

2. 研修受講修了者

港湾級20名の方々が研修を修了されました。

3. 実習紹介



横浜新港験潮所実地研修
(第三管区海上保安本部所管)



集合写真

2019年度 2級水路測量技術検定試験合格者

(試験日：1次・2次 令和元年5月24日)

【港湾 23名】

人数	氏名	所属	都道府県
1	大家 翔馬	(株) パスコ 環境文化コンサルタント事業部	東京都
2	加藤 秀征	(株) 小島組 東京支店	東京都
3	高下 桂	朝日航洋 (株)	東京都
4	藤田 温斗	アジア航測 (株)	神奈川県
5	会田 将基	(株) 北新測量	北海道
6	馬場 敦	(株) 東日本建設コンサルタント	福島県
7	関口 敬太	(株) 東日本建設コンサルタント	福島県
8	永山 雄也	玉野総合コンサルタント (株)	愛知県
9	山中 道夫	(有) 熊野路測量設計	和歌山県
10	佐藤 智行	(株) ダイワ技術サービス	宮城県
11	中嶋 圭佑	(株) 東設土木コンサルタント	東京都
12	山本 雅彦	中電技術コンサルタント (株)	広島県
13	中嶋 誠	(株) ウインズ	北海道
14	坂本 隼斗	北海道河川開発 (株)	北海道
15	小林 正典	海陸測量調査 (株)	東京都
16	榎木田 浩孝	朝日航洋 (株) 東京空情支社 埼玉支店	埼玉県
17	神楽岡 康弘	(株) 日本インシーク	大阪府
18	古田 真也	中国工務 (株)	広島県
19	石井 太朗	(株) シャトー海洋調査 九州支店	福岡県
20	岡本 直樹	(株) アーク・ジオ・サポート	東京都
21	杉浦 博	アジア航測 (株) 福岡支店	福岡県
22	留目 司	(株) 興和 地理空間情報部	青森県
23	川又 弓華	(株) 興和 地理空間情報部	青森県

【沿岸 2名】

人数	氏名	所属	都道府県
1	梅本 一	津乃峰測量設計 (株)	徳島県
2	奥脇 教史	千本電機 (株)	静岡県

平成30年度 水路測量技術検定試験問題

港湾1級1次試験（平成30年7月7日）

－試験時間 60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土地の測量並びにその成果を航海に利用させるための (②) 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. 都道府県知事	ロ. 地方公共団体	ハ. 海洋	ニ. 民間企業
ホ. 港長	ヘ. 水域	ト. 潮汐	チ. 海上保安庁長官
リ. 市区町村長	ヌ. 国土交通大臣	ル. 地磁気	ヲ. 水深

水深測量

問1 次の文は、水深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) 測深は海上模様ができる限り平穏なときに実施するものとし、特に掘下げ区域及び岩礁区域では波浪のある場合を避けるものとする。

- (2) 浅所の位置は2線以上の位置の線の交会によるか、又は2回以上の測定を行うものとする。
- (3) 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。
- (4) 測深区域内の現行海図に記載されている暗礁、沈船、堆等については、確認のための測量を行い、その結果発見できない場合は、その不存在又は著しく水深の異なることを確認できる調査を実施するものとする。
- (5) 計画した測深区域以外であっても、浅所又は異常な記録が現れた場合は、必要な補測を行うものとする。ただし、現行海図又は旧測量原図若しくは旧電子測量原図にそれが記載されている場合にはこの限りではない。

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0.3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0.7メートル、潮高改正量が1.4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、該当する番号を解答欄に記入しなさい。

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

問3 スワス音響測深機を使用する前に各種のバイアス測定を行いますが、次のバイアス測定を行うのに適した海域は、どのような海底地形のところか記述しなさい。

(1) ロールバイアスの測定

(2) ピッチバイアスの測定

問4 クロスファンビーム方式の音響測深機で、水中音速度が一定の場合の測得水深値を求める計算式を記述しなさい。

潮汐観測

問1 次の文は、潮汐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×を付けなさい。

- (1) 日本近海における月平均水面は、一般に冬春に高く、夏秋に低い。
- (2) 潮時は、毎日前日に比べ50分程度遅くなる。
- (3) 潮差は、朔望の1ないし3日後に最大となる。
朔望から潮差が最大となるまでの時間を潮時差という。
- (4) 約半年後の月齢の等しい日の潮汐変動はほぼ等しいが、午前と午後とを逆にした変動となる。
- (5) 潮汐の主要4分潮は、 M_2 、 S_2 、 K_1 、 O_1 分潮である。

問2 次の文は、日潮不等について述べたものである。()の中に適当な語句を記入しなさい。

1日2回の潮の干満の高さは必ずしも一様でなく、かなりの差があることがある。

また相次ぐ高潮または低潮間の(①)についても同様である。

はなはだしいときには、1日1回しか干満のないときもある。

このような高潮、低潮の不等を日潮不等という。

この場合、一日中の高い方の高潮を(②)、低い方の高潮を(③)という。

日潮不等は月が赤道から最も隔たった頃に最も大きくなり、赤道付近にあるときに最も小さくなる。

日潮不等の最も大きい頃の潮汐を(④)、最も小さい頃の潮汐を(⑤)という。

問3 某港において某日某時刻に音響測深機により水深を測ったところ、16.3メートル(潮高以外は補正済み)であった。某港には常設験潮所がなく、その時刻の臨時験潮所の観測基準面上の潮位は3.25メートルであった。

下に示す資料の条件から

観測基準面上の

- ①測量地の平均水面(A'_0)の算出式を記載しなさい。
- ②最低水面(DL)の算出式を記載しなさい。

- ③最低水面（DL）を算出しなさい。
- ④海図記載水深をメートル以下第1位まで算出しなさい。
ただし、某港の Z_0 は、0.95メートルである。

- 資料
- 1) 常設験潮所（基準となる験潮所）の平均水面の高さ（ A_0 ） 2.43 m
 - 2) 常設験潮所（基準となる験潮所）の短期平均水面の高さ
平成30年6月1日～6月30日の平均水面の高さ（ A_1 ） 2.55 m
 - 3) 測量地験潮所（臨時験潮所）の短期平均水面の高さ
平成30年6月1日～6月30日の平均水面（ A'_1 ） 1.96 m

協会だより

日本水路協会活動日誌
「平成31年4月～令和元年6月」

4月

日	曜	事 項
1	月	◇ newpec (航海用電子参考図) 4月更新版提供
〃	〃	◇ 電子潮見表 2020年版発売
8	月	◇ 2級水路測量技術研修 (港湾級～19日まで)
25	木	◇ 機関誌「水路」第189号発行

5月

日	曜	事 項
9	木	◇ 水路測量技術検定試験問題案 作業部会
10	金	◇ 機関誌「水路」編集委員会
16	木	◇ 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)
21	火	◇ 第25回理事会 (東海大学校友会館)
24	金	◇ 2級水路測量技術検定試験 (西池袋:東京セミナー学院)
30	木	◇ 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)

6月

日	曜	事 項
11	火	◇ 1級水路測量技術研修 (沿岸級～28日まで)
17	月	◇ 1級水路測量技術研修 (港湾級～28日まで)
20	水	◇ 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)
21	金	◇ 第10回評議員会・第26回理 事会 (東海大学校友会館)
〃	〃	◇ 平成30年度 水路業務功績者 表彰式 (東海大学校友会館)
29	土	◇ 1級水路測量技術検定試験 (西池袋:東京セミナー学院)



編集後記

★ 鈴木充広さんの「旧暦の2033年問題<<1>>」は、20年ほど前にこの年の「閏日」が関係した「コンピューターの西暦2000年問題」と呼ばれた暦に関する問題が世間を騒がしたことがありましたが、2033年問題とは1873年の改暦(グレゴリオ暦)以前に使われていた旧暦に関する問題だそうです。この問題は一言でいうと「2033年の旧暦の暦月の名前が決められない」ということだそうです。今回は旧暦とはどのような暦なのかを詳しく紹介されており、このややこしい問題については次回ご紹介していただけたとのこと。

★ 道田 豊さんの「ペリー艦隊のみた黒潮から現在まで」は、広島市にて第六管区海上保安本部創設70周年記念として特別講演されたもので、「海流観測」をキーワードとして海上保安庁水路部(海洋情報部)の活動を中心に、1853年と翌年の54年来航した黒船ペリー艦隊による観測レポートや第二次世界大戦期間中に岸人三郎大佐により実施された「一斉海洋観測」など、それぞれの時代を象徴するような話題とともに今後の展望も含めた内容となっております。

★ 谷口 旭さんの「プランクトンが語る海の環境と生態系<<9>>」は、あまりなじみのない言葉である「多獲性浮魚」が今回の主役です。農水省は「多獲性魚とは、いわし、あじ、さば、さんま等一度に大量に獲れる魚」としています。これらは大衆魚と

して親しまれ、ずっと昔から大量に漁獲され続けておりますが、全くの自然群衆であるにもかかわらず資源が枯渇しないのはなぜかということが今回の主題で多獲性浮魚類の特性等を詳しく紹介されており、このシリーズの総まとめになっております。

★ 今村 遼平さんの「中国の地図を作ったひとびと<<11>>」は、北宋の広く世間に知られた博学多才な科学者で、天文や地理・音律・物理等々通じない分野がないほどであり政治家でもある沈括(しんかつ)について、その生い立ちから指南針の航海や測量における利用技術的基礎を確立したこと、磁針の偏角現象をコロンブスが大西洋横断の際に発見した400年以上も早い時期に発見したことなど、数々の功績が詳しく紹介されております。

★ 加行 尚さんの「健康百話(67)」は、「発疹を伴う発熱」についてのお話です。「発疹を伴う発熱」には麻疹(はしか)や風疹の発症がみられるように、重症感染症が隠れていることがあるそうです。注意すべき随伴症状として①関節痛または関節炎、②リンパ節腫脹、③髄膜刺激症状、④皮膚剥離があるとのこと。これらの随伴症状が見られ場合は重症感染症の可能性が疑われるので、直ぐに医療機関を受診するようにしてください。

(伊藤 正巳)

編集委員

藤田 雅之	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
細川 滝馬 ダニエル	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190号

発行：令和元年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

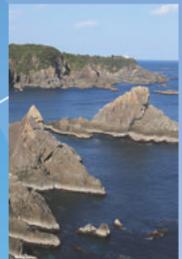
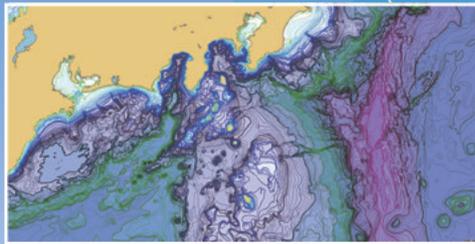
印刷：株式会社 ハップ
TEL 03-5661-3621

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。

海底地形デジタルデータ あなたのM7000は シリーズ 最新ですか？

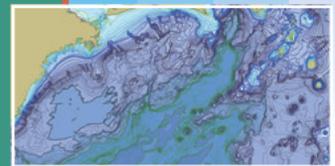
海底地形デジタルデータ M7000 シリーズは、日本沿岸全域をカバー。
全国を 27 エリアに分けて、海岸線、等深線、低潮線の情報を収録。
データ形式は、アスキーファイルとシェープファイルの 2 種類。
目的によってデータも自在に加工可。
海洋調査、漁業、工事など、さまざまなシーンで活躍。
データの内容は随時更新。
最新のデータがさまざまな場面であなたをサポート。
更新情報は、海図ネットショップにて御確認いただけます。



M7000シリーズの 更新情報

- 2018年 更新
- 2017年 更新
- 2016年 更新
- 2015年 更新
- 2014年 更新
- 2013年 更新

(2019年7月現在)



海図ネットショップ

JHA (一財)日本水路協会
<https://www.jha.or.jp/shop/>