

備後なだ・ひうちなだの海況に関する研究

I. 1968年2月上旬における水温, 塩素量, 栄養塩(リン酸態リン, アンモニア・亜硝酸・硝酸態チッ素)などの分布*

小山 治行・落合 浩**
(広島大学水畜産学部水産学科)

Studies on the Coastal Oceanography of the Bingo-nada and
Hiuchi-nada Regions of the Seto Inland Sea.

I. Distribution Patterns of Temperature, Chlorinity, Inorganic Nutrient
Contents (Phosphate-P, Ammonia-N, Nitrite-N, Nitrate-N) and
Some Other Properties of Sea Water in Early February, 1968.

Haruyuki KOYAMA and Hiroshi OCHIAI**

*Department of Fisheries, Faculty of Fisheries and Animal
Husbandry, Hiroshima University*

(Figs. 1-8; Table 1)

ま え が き

備後なだ・ひうちなだは, 瀬戸内海の中部にあたる面積約1,900km², 容積約36km³の海域である。¹⁾この海域は, 1967年に国際生物学事業計画(JIBP)の内海性海域の標本に選ばれ, それ以来各種の海洋生物学的研究が活発に行われつつある。

ここに報告するのは, 同計画の一環として年の最寒期を選んで1968年2月に筆者らが実施した, 同海域の海水の物理と栄養塩含量に関する若干の測定結果である。これらの測定は, 測定項目および標本数の面で不十分な点があり, 満足すべき結論を導き得なかったため, 結果の発表を差控えて来たものである。

しかし当時から現在に至る数年間に, この海域では, 富栄養化の徴候(例えば赤潮の頻発)²⁾や産業廃水による汚濁³⁾が増加の傾向にあると思われる。この海域の環境保全方策を確立する上で, ここに報告するデータが多少とも役立てば幸である。

海上での観測・採水は本学部実習船豊潮丸(上領善一船長)にて行い, 同船の乗組員各位が多量の援助を下された。測定結果の整理には三村和子氏の助力を得, 本報のとりまとめには中村中六教授から御べんたつを頂いた。また研究費用の一部は九州大学農学部花岡資教授を代表者とする昭和42年度文部省科学研究費(特定研究「内海性海域における生物生産の動態に関する研究」)に仰いだ。記して深く感謝の意を表する。

*Special Project Research "Studies on the Dynamic Status of Biosphere" supported by the Ministry of Education. This study was carried out as a part of JIBP Project.

**現在: 徳島県農林水産部水産課. Present address: Department of Agriculture, Forestry and Fisheries, Tokushima Prefecture.

観測及び分析方法

1 観測日時及び観測点

観測・採水は1968年2月5, 6日(月令6.4, 7.4)の昼間に合計11測点で各1回行った(Fig. 1). St. 3Aと9Aはそれぞれ宮ノ窪瀬戸, 三原瀬戸の海水性状を知る目的で設けたもので, その他の9測点はJIBPの定点⁴⁾である.

観測時の水深は, 西部の海峡付近の4測点(St. 1, 3A, 4, 9A)では大(35~58m), 西条地先のSt. 6で小(12.5m), 他の6測点では20~27mであった.

観測時刻と潮候との関係を Fig. 2 に示した. 観測当時の天候は Table 1 の通りで, 第1日は気温(海上) 4.0~7.5°, 風はNWないしW(風力1~3)で寒冷であった. 第2日は朝から温暖に向いつつあったが, St. 3Aの観測中に寒冷前線が通過し, それ以後気温は7~8.4°にとどまった. 風は西寄り(風力1~2)であった.

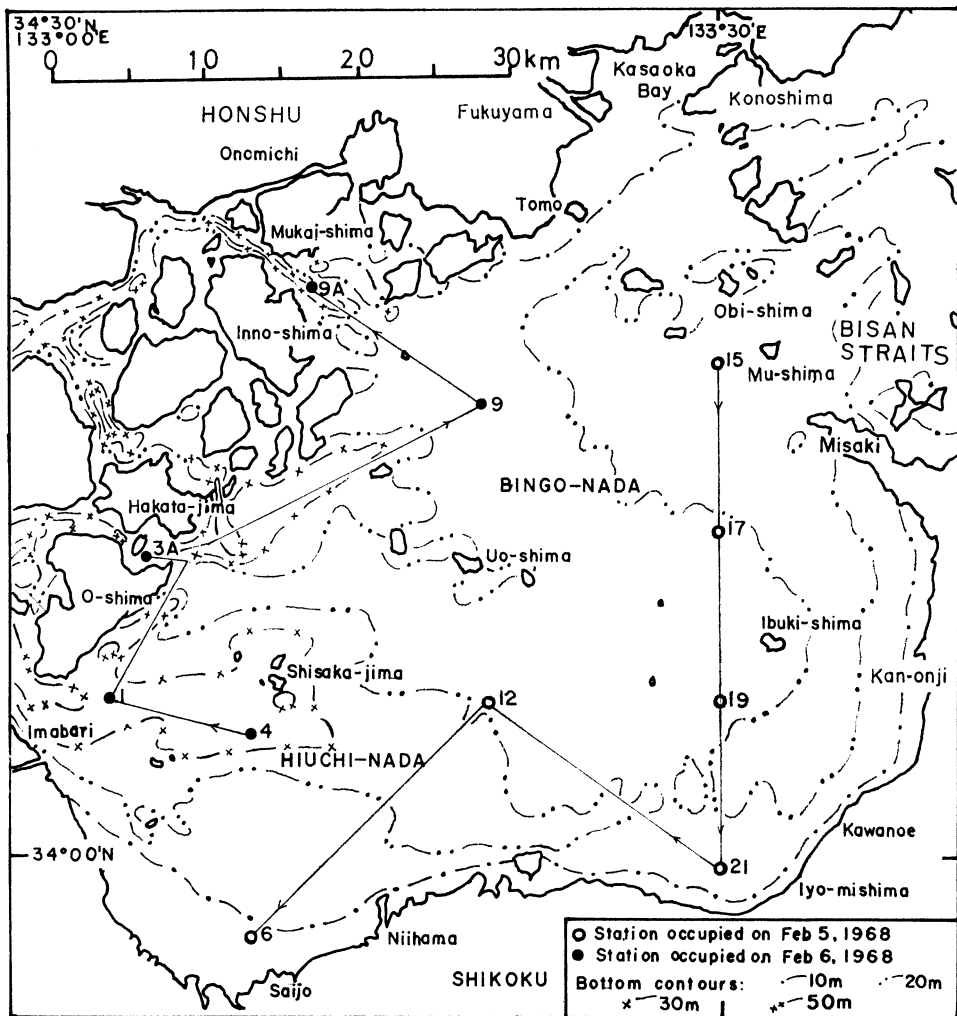


Fig. 1 Observation stations and tracks.

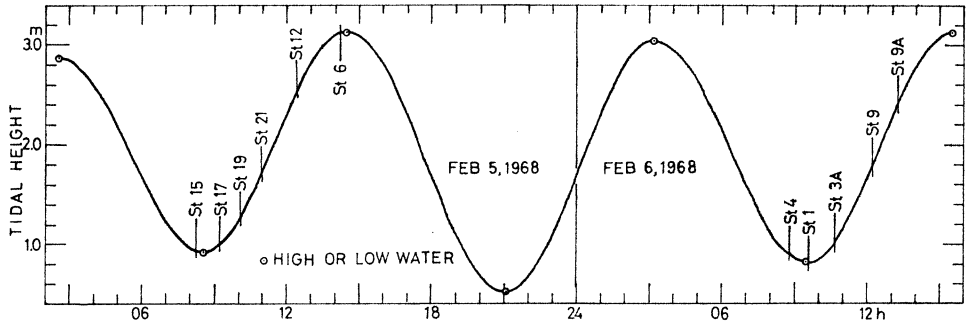


Fig. 2 Predicted tidal curve at Niihama on the observation days.
(The time each station was occupied is indicated.)

2 観測方法

採水は30m層以浅について行った。採水深度は0, 5, 10, 20, 30mとし、北原式B号採水器を用いた。測温はサーミスター水温計(東邦電探ET-5型)を用いて深度約40mまで測定し、1~2mごとに読み取った。

3 試水の分析

pH: 採水直後、McCLENDONの緩衝液とThymol blue-Cresol red混合指示薬を用いて⁵⁾比色測定した。

溶存酸素: WINKLER法(チッ化ナトリウム変法⁶⁾)によった。

phosphate-Pとnitrite-N: 0, 10, 30m層の試水について測定した。前者はDENIGÈSの方法(還元剤は SnCl_2)⁵⁾で発色させ700 μ 付近で、後者はBENDSCHNEIDER-ROBINSONの方法⁷⁾で発色させ530 μ 付近で、直径4cmの円筒セルを用いて吸光度を測定した。分析は採水当日に行った。

濁度: 一たん試水瓶に採取した試水を、直径4cmの円筒セルにとり、タングステン電球光の平行光束を投射して直角方向への散乱光を測定した(東京光電光度計7A型)。標準には30ppmのkaoline懸濁水に相当するスリガラスのセルを用い、測定結果は同等の光散乱を示すkaoline懸濁水の濃度(ppm)で表示した。測定は通常各測点の2層について採水当日に行った。

ammonia-Nおよびnitrate-N: 0, 10, 30m層の試水を採水当日に凍結させ3日以内に(2月5日採水分)、または凍結せず1夜冷蔵して翌日に(2月6日採水分)、陸上実験室で分析した。ammoniaはSTRICKLAND & PARSONS⁷⁾が記述した方法でnitriteに酸化し、nitrateはMORRIS & RILEYのCdアマルガムを用いてnitriteに還元し⁷⁾、いずれも543 μ で吸光度を測定した。なお栄養塩の吸光度測定は、試水をろ過する事なく行い、濁りの影響は別に測定して差引いた。

塩素量: KNUDSENの硝酸銀滴定法⁵⁾によった。試水を凍結保存したために誤差をまねいたおそれのある分析値は、棄却した。

結果および考察

観測・測定の結果をTable 1にとりまとめた。

1 水温・塩素量の鉛直分布

降水がごく少く大気が寒冷な季節であるため、海水は対流・冷却中で、塩素量の鉛直変化は各測点でほとんど測定誤差以内、水温のそれは、西条地先のSt. 6を除き、0.2°以内であった。St. 6では5~10m層間に-0.14°/mの水温勾配が見られた(Fig. 3)。

2 水温・塩素量の地理的分布

水温の地理的分布をFig. 4に示した。調査海域の西縁にあたる芸予諸島間の海峡(St. 1, 3A, 9A)

Table 1. Observational data.

St	D (m) Tr(m) Time	Wthr T _a (°C) Wind	Z (m)	T _w (°C)	Cl (‰)	O ₂ (%)	pH	Tbd (ppm)	PO ₄ -P NH ₄ -N NO ₂ -N NO ₃ -N (μg-atom/L)			
									PO ₄ -P	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N
February 5, 1968												
15	27.0	o	0	7.40	...	92.5	8.2	...	0.31	2.0	0.10	0.91
	11.6	4.0	5	7.35	18.58	94.0	8.2	1.8	...	...	...	...
	08:15	NW-3	10	7.35	...	92.7	8.25	...	0.39	4.2	0.13	0.63
			20	7.35	18.56	94.0	8.2	0.9	...	...	...	...
17	22.0	o	0	7.90	...	99.3	8.3	...	0.33	0.8	0.01	0.0
	7.0	4.6	5	7.93	18.60	100.1	8.35	1.1	...	...	...	...
	09:12	NW-3	10	7.93	...	99.7	8.35	...	0.37	0.06	0.02	0.0
			20	7.93	18.68	101.2	8.34	2.2	...	...	...	...
19	21.0	bc	0	8.60	...	100.0	8.28	...	0.31	5.3	0.11	0.0
	7.8	5.0	5	8.58	...	99.7	8.23	2.5	...	...	...	...
	10:05	NW-2	10	8.58	...	98.9	8.23	...	0.30	0.9	0.09	0.0
			17	8.58	18.61	99.2	8.25	0.7	...	...	...	...
21	21.0	o	0	7.60	...	100.0	8.25	...	0.28	2.7	0.25	1.00
	5.9	6.3	5	7.45	18.64	100.3	8.23	1.5	...	...	...	...
	10:57	NW-2	10	7.45	...	...	8.2	...	0.28	2.7	0.26	0.70
			18	7.45	18.61	100.1	8.2	4.3	...	...	...	...
12	24.0	bc	0	9.30	...	96.2	8.15	...	0.41	1.7	0.40	0.97
	4.8	5.2	5	9.15	18.67	95.3	8.2	1.5	...	...	...	...
	12:25	W-1	10	9.15	...	95.4	8.23	...	0.53	1.9	0.33	1.03
			20	9.10	18.69	95.9	8.2	3.1	...	...	...	...
6	12.5	c	0	9.65	...	97.2	8.25	...	0.44	2.2	0.36	0.90
	4.0	7.5	5	9.55	18.75	96.9	8.23	3.0	...	...	...	...
	14:11	NW-1	10	8.85	...	98.3	8.2	...	0.36	0.1	0.09	0.07
			12	8.65	18.72	99.2	8.23	>30.	...	...	...	...
February 6, 1968												
4	35.0	bc	0	9.25	18.72	96.7	8.2	2.3	0.31	1.4	0.23	0.69
	5.0	6.4	5	9.30	18.71	96.2	8.2	...	...	...	...	...
	08:48	SW-1	10	9.30	18.73	96.6	8.2	2.6	0.28	0.5	0.19	1.71
			20	9.30	18.72	95.3	8.2	...	...	...	...	...
1	57.0	bc	0	9.45	18.72	96.0	8.23	2.2	0.33	0.7	0.27	1.14
	7.2	12.0	5	9.50	18.72	95.3	8.23	...	...	...	...	...
	09:35	W-1	10	9.45	18.71	94.8	8.25	1.9	0.28	0.7	0.22	1.06
			20	9.45	18.71	95.6	8.23	...	...	...	...	...
		30	9.40	18.71	96.0	8.25	2.1	0.33	2.3	0.21	1.35	
3A	37.0	o	0	9.50	18.72	96.3	8.23	1.3	0.28	0.0	0.24	1.21
	6.5	8.0	5	9.45	18.74	94.5	8.2	...	...	...	...	...
	10:39	SW-2	10	9.45	18.74	95.4	8.23	1.3	0.34	0.4	0.26	0.85
			20	9.45	18.75	95.7	8.23	...	...	...	...	...
		30	9.45	18.73	96.8	8.25	1.6	0.31	0.3	0.30	1.28	
9	20.0	bc	0	8.65	18.67	100.6	8.25	1.9	0.28	1.3	0.0	0.0
	5.4	8.4	5	8.58	18.68	102.1	8.25	...	...	...	...	...
	12:12	SW-2	10	8.50	18.66	100.8	8.23	2.6	0.33	2.3	0.0	0.0
			18	8.45	18.66	99.9	8.25	...	...	...	...	...
9A	58.0	c	0	9.55	18.67	97.2	8.2	2.2	0.39	3.0	0.23	1.60
	6.8	7.0	5	9.45	18.67	96.6	8.23	...	...	...	...	...
	13:14	NW-2	10	9.45	18.67	97.6	8.25	1.6	0.43	2.5	0.23	1.05
			20	9.40	18.69	96.3	8.23	...	...	...	...	...
		30	9.40	18.68	96.2	8.25	1.6	0.36	0.5	0.19	1.19	

Notation: Cl, chlorinity. D, sounding.
 O₂, dissolved oxygen in percentage saturation.
 St, observation station. T_a, air temperature.
 Tbd, turbidity of sea water, expressed in the concentration of the kaoline suspension that gives same amount of scattering of white light as the sea water sample.
 Tr, transparency, i.e., visibility of a white Secchi disk 30 cm dia.
 T_w, water temperature.
 Wind, direction and the wind force in Beaufort's scale.
 Wthr, weather
 Z, observation depth.
 ... No data.

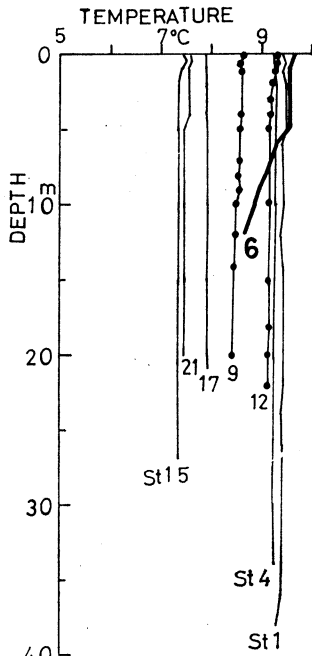


Fig. 3 Vertical variation in water temperature at representative stations.

で水温が高く(9.4~9.5°), 本海域内を東へ進むにつれて水温の低下する傾向が見られた。最低の水温は備讃瀬戸西口(St. 15)と伊予三島地先(St. 21)とに見られ、それぞれ7.35°, 7.45°で、前者は放冷冷却のより著しい備讃瀬戸系の低温水の勢力範囲、後者はひうちなだ最奥部の停滞区と推定される。

各子午線上で水温が比較的高いのは St. 6 (0~5 m層), St. 4, 12, 19であり、測点間隔がやや大きいので確実には言えないが、来島海峡などから流入する比較的温暖な海水は、これらの各測点に比較強く及んでいたものと推定される。

塩素量の地理的分布 (Fig. 5) は、水温のそれとかなりよく対応し、西縁の海峡部で塩素量が高く(18.67~18.75%), 東進するにつれて低下の傾向が見られた。海峡部の3測点の塩素量は、宮ノ瀬瀬戸 (St. 3 A), 来島海峡(St. 1), 三原瀬戸 (St. 9A)の順に低くなっていた。海域内の最低値は備讃瀬戸西口 (St. 15)の18.56%で、そこから伊予三島地先にかけても (St. 17, 19, 21) 低い値(18.60~18.64%)が観測された。

3 透明度と濁度

白色透明度板(直径30cm)を用いて船上から測定した透明度の、地理的分布は Fig. 6 の通りで、西縁の海峡部で約7 m, 本海域中央部の St. 9, 12ではこれより低く約5 mであった。これに対し、東部の4測点では5.9m以上で中央部ないし西縁の海峡部よりも透明度が高かった。特に備讃瀬戸西口(St. 15)では11.6mの高値であったが、この場所の低水温・低塩素量を筆者らは備讃瀬戸系海水の高率混合によるものと解釈するものであるが(前項参照), そのような混合があれば透明度はむしろ低下すると期待されるわけで、この

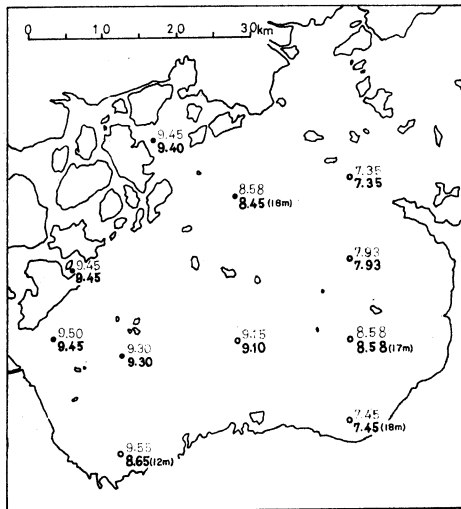


Fig. 4 Geographic variation in water temperature (°C) at the depths of 5m (thin character) and approximately 20 m (heavy character; measurement was taken at 20 m unless otherwise indicated).

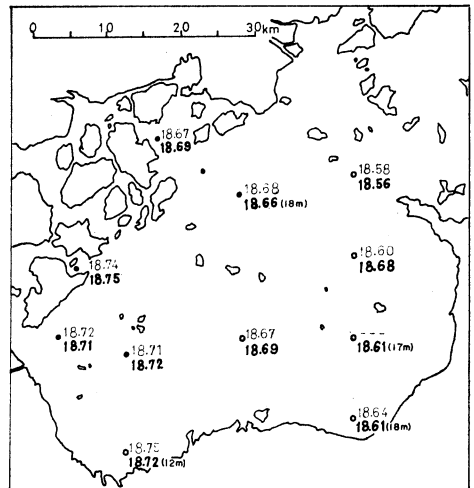


Fig. 5 Geographic variation in chlorinity (‰) at the depths of 5 m (thin character) and approximately 20 m (heavy character; sampling depth was 20 m unless otherwise indicated).

測点の高い透明度に適切な説明を与え得ない。

白色光散乱法による試水の濁度の測定結果 (Fig. 6) は、測定数が少いうえ、測定層が統一を欠いたため法則性を指摘することが困難である。数測点 (St. 6, 12, 21) の下層に見られた $3 \sim >30$ ppm を除外すると、測定値は $0.7 \sim 2.6$ ppm の範囲であった。各測点での鉛直変化は $\times 1 \sim \times 2$, まれに $\times 4$ のオーダーであったが、上層・下層のいずれが高値かは一定しなかった。また海域の西・中・東部のいずれが濁度が最も高いかについても明瞭な傾向を指摘しにくい。

4 栄養塩などの分布

0, 10, 30 m 層で採取した試水の phosphate-P 濃度 (Fig. 7) は $0.28 \sim 0.53 \mu\text{g-atoms/l}$ の範囲で、各測点の鉛直変化は $0.12 \mu\text{g-atoms/l}$ 以内で小さい。地理的分布に関しては測点間の値の差が小さく顕著な分布傾向を指摘しがたい。

nitrite-N の濃度 (Fig. 7) は、すべて $0.4 \mu\text{g-atoms/l}$ 以下の小さい値であった。地理的には、東部の St. 15, 17, 19 で低く ($0.13 \mu\text{g-atoms/l}$ 以下), また中部の St. 9 では感度以下の低値であった。筆者らはこれらの低値の原因を適切に説明し得ない。

nitrate-N の濃度は、多くの場合 $0.6 \sim 1.4 \mu\text{g-atoms/l}$ の範囲であった (Fig. 8)。ただし、St. 9, 17, 19 の 0, 10 m 層試水では全く検出できず、他方、 $1.6 \sim 1.7 \mu\text{g-atoms/l}$ の高値を示した試水が 2 例あった (St. 9 A の 0 m, St. 4 の 10 m)。このような地理的分布についても現在適切な説明を与え得ない。

ammonia-N の濃度は $0.0 \sim 5.3 \mu\text{g-atoms/l}$ で (Fig. 8), 単独または nitrate-N と共同して、溶存性無機 3 態窒素の主部分をなしていたが、その鉛直および地理的分布は、今回の測定の範囲では、規則性よりむしろ不規則性が目立つように見受けられ、特定の分布傾向を指摘しがたい。

溶存酸素については、飽和度を Table 1 に示した。各測点での飽和度の鉛直変化はごく小さかった ($1 \sim 2\%$ 以下)。地理的には、西縁の海峽部で概して低く (96% 前後), 東部では概して約 100% で高かった。ただし備讃瀬戸西口 (St. 15) では約 93% で、全測点中の最低値であった。いうまでもなく、溶存酸素量の増減を支配する要因として、大気との接触、生物作用、水温変化などをあげることが出来るが、関連事項の測定を欠いているため、上述の地理的分布を支配した主要要因が何であったかについて論ずることは困難である。

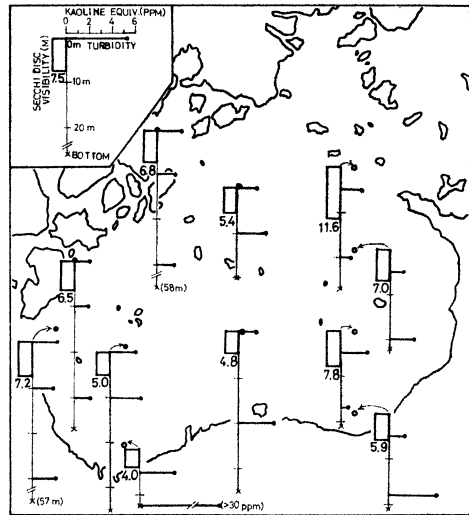


Fig. 6 Geographic variation in the transparency (i.e., Secchi disc visibility) and in the turbidity of sea water samples from different depths.

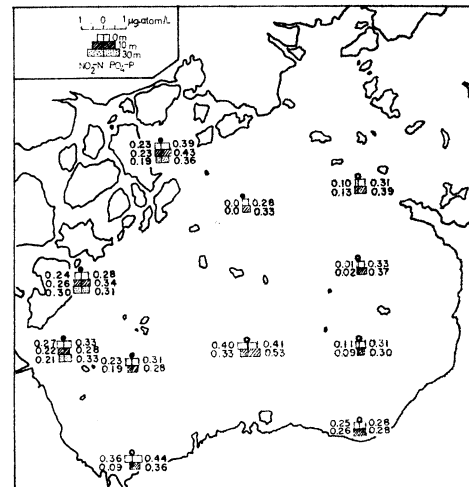


Fig. 7 Geographic variation in the nitrite and the phosphate contents of sea water ($\mu\text{g-atoms/l}$) at the depths of 0, 10 and 30 m.

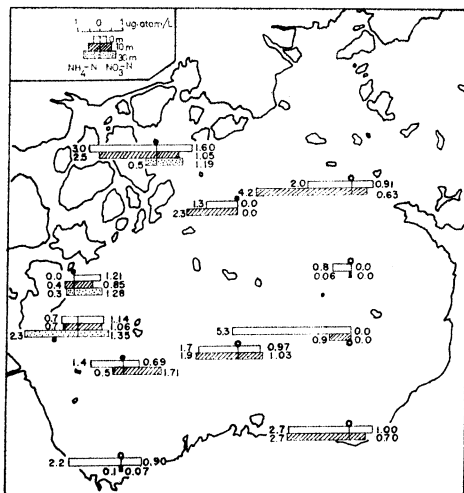


Fig. 8 Geographic variation in the ammonia and the nitrate contents of sea water ($\mu\text{g-atoms/L}$) at the depths of 0, 10 and 30 m.

結 語

上に考察したとおり、今回の測定では、水温・塩素量の分布にもとずいて、隣接海域からの流入海水が本海域に及ぼす影響径路について多少の推論をなし得たにすぎず、透明度、濁度、溶存酸素飽和度、および4種の栄養塩の濃度については、単にその値を示すにとどまり、分布・変動の支配要因を明かにするに到らなかった。これらを明かにするためには、時間・空間的に、より濃密な測定を行うと共に、関連要素についての観測・測定を加える事が要請される。

なお、今回の観測は各要素の水平・鉛直方向の変化が最も単純であると考えられる冬期に行ったのであるから、他の季節においては、前段の要請は一層重要になるう。

引 用 文 献

- 1) 吉野 格：瀬戸内海の気象と海象，1. 3節，内海地誌，p. 3，海洋気象学会，神戸（1967）。
- 2) 前川 力・津田 覚・中西 弘・村上彰男：瀬戸内海海域の汚染負荷解析—BOD, COD, SS, 油, NおよびPの発生負荷量，pp. 45—62，中国地方経済連合会・瀬戸内海利用開発会議汚染専門委員会，広島（1972）。
- 3) 村上彰男・新田忠雄・岡市友利・河瀆計明：燧灘東部海域の汚濁状況調査報告，92 pp.，日本水産資源保護協会，東京（1971）。
- 4) JIBP—PM—内海班：内海性海域における生物群集の生産の動態に関する研究 データー集，第1号，p. 1（1972）。
- 5) 中央気象台（編）：海洋観測指針，pp. 136—147, 164—168, 179—181，日本海洋学会，東京（1956）。
- 6) 松江吉行（編）：公共用水域保全のための水質汚濁調査指針，第1版，pp. 122—123，恒星社厚生閣，東京（1962）。
- 7) STRICKLAND, J. D. H. & PARSONS, T. R.: A Manual of Sea Water Analysis, *Bull. Fish. Res. Bd. Canada*, No. 125, pp. 73-78, 79-82, 83-87（1965）。

SUMMARY

About in the middle of the Seto Inland Sea extending east and west, a somewhat pear-shaped sea region is observed; its northern border (i.e., the tip of the pear-shape) being that part of the southern shore of Honshu where Fukuyama and Kasaoka cities are located; its southern border (the bottom of the pear) being the middle portion of the northern shore of Shikoku, where Kan-onji, Iyo-mishima, Niihama and Imabari cities are situated in an east to west line. This sea extension communicates with the shallower Bisan Straits in the northeast; the commonly accepted boundary between them runs from Konoshima on, south to Obi-shima, and then southeast to Misaki. In the west, this sea region is bordered by the eastern edges of the island chain (the Geiyo Islands) extending from Tomo southwest to Imabari, and communicates with the less neritic Aki-nada region by several straits.

This sea region measures nearly 1,900 km² in area and contains about 36 km³ of water. Its diameters are ca. 58 km laterally (Imabari to Kan-onji) and ca. 60 km longitudinally (along the 133° 30' E meridian) (Fig. 1).

This region can be subdivided into a northern and a southern portion by the arc of small islands including Uo-shima and Ibuki-shima; the former is called Bingo-nada and the latter, Hiuchi-nada.

As part of the efforts to clarify the dynamics of organic production in this sea region, the authors performed, in early February, 1968, the measurements of the oceanographical factors named in the title above as well as pH, dissolved oxygen and turbidity of the sea water and also the depth of disappearance of the Secchi disc ('transparency'). Eleven stations were surveyed altogether during a 2-day cruise (Fig. 2). The driest and coldest season of the year was chosen for the observation.

This paper presents the results of this examination (Table 1). The survey should be regarded as a preliminary attempt, since the authors did not yet succeed in elucidating the real mechanisms underlying the apparently complicated distributions of some of the measured factors.

Following are the noticeable features of the results.

Reflecting the convective cooling, the water temperatures proved vertically uniform at all stations except St. 6 (Fig. 3); chlorinity and dissolved oxygen were also nearly uniform vertically at all stations. Geographically, both temperature and chlorinity were highest along the western border of the sea region, and lowered towards the east (Figs. 4 & 5). Both elements reached a minimum near the Bisan Straits; they reached another minimum at the innermost part of Hiuchi-nada (near Iyo-mishima). This distribution pattern may point to the following tendency: the more saline and warmer water distributed to the westward was flowing into Bingo-nada and Hiuchi-nada through the straits of the Geiyo Islands and was then cooled and diluted while flowing eastward. It is also inferable that less saline and colder water was found in the Bisan Straits.

The percentage saturation of dissolved oxygen was vertically uniform at all stations. Along the western border it was somewhat lower (ca. 96%); it showed a general trend towards increase towards the east except for the considerably low values (ca. 93%) at St. 15 (Table 1).

Concentrations of inorganic nutrients, which were determined by absorptiometry using unfiltered water samples, showed to be within the following ranges: phosphate-P, 0.28-0.53; nitrite-N, 0.0-0.40; nitrate-N, 0.6-1.7 and ammonia-N, 0.0-5.3 $\mu\text{g-atoms}/\ell$ (Figs. 7 & 8). It was difficult to find any pronounced regularity regarding the vertical and/or geographic variations in their concentrations. This difficulty might have been overcome to a considerable extent if simultaneous measurements had been taken of organic phosphorus and nitrogen of dissolved and particulate forms as well as of the activities of marine organisms *in situ* (particularly of phytoplankton).

The Secchi disc 'transparency' was about 7 m along the western border, about 5 m in the central part, and between 6 and 8 m in the eastern part of the surveyed region. The only exception was the unexpected high value (11.6 m) at St. 15 (Fig. 6). The light scattering capability ('turbidity') of the water samples from various depths (except the bottom layer) was comparable with that of kaoline suspensions of 0.7-2.6 ppm. In neither vertical nor geographic distribution of turbidity, any pronounced regularity could be detected.