

## 茨城県中部沿岸海域における底層流速の変動特性

誌名	水産工学研究所研究報告
ISSN	03889718
著者	武内, 智行
巻/号	8号
掲載ページ	p. 59-80
発行年月	1987年3月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター  
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council  
Secretariat



## 茨城県中部沿岸海域における底層流速の変動特性

武内智行\*

On the Characteristics of Bottom Layer Flow off Ibaraki Prefecture in Japan

By

Tomoyuki TAKEUCHI

### 目 次

1. はじめに.....59	3.3 水温.....66
2. 現地調査.....59	4. 考察.....66
2.1 調査地点.....60	4.1 変動特性の相互比較.....66
2.2 調査期間.....60	4.2 設計流速の算定方法.....68
2.3 調査方法と測定項目.....60	5. おわりに.....70
2.4 解析方法と処理項目.....60	参考文献.....70
3. 調査結果.....61	付録・設計流速の算定の根拠.....71
3.1 測得状況.....61	Summary.....79
3.2 流向・流速.....61	

### 1. はじめに

人工魚礁等の沿岸漁場整備開発事業（沿整事業）における海中構築物は沿岸海域の数十 m から百数十 m までの水深に設置されることが多い。近年、測流技術の向上により、断片的ではあるがそのような水深あるいはさらに深い水深においても底層付近には時としてかなりの速さの流れのあることが知られるようになってきた。たとえば、平ら<sup>1)</sup>は水深 5850 m という深海の底上 30 m の位置で最大 24 cm/sec、岡崎<sup>2)</sup>は日本海大和堆の最浅部付近（水深 380 m）の底上 0.6 m で最大 50 cm/sec 程度の流速値を得ている。また、Weatherly<sup>3)</sup>はフロリダ沖の水深 101 m 地点の底上 2.5 m～50 m にて平均 20 cm/sec 程度、Kundu<sup>4)</sup>はアフリカ沖の水深 67 m 地点の底上 6 m で 20～30 cm/sec（1 週間平均）、さらに Weatherly<sup>5)</sup>はフロリダ海峡の水深 640 m 地点の底上 3 m で最大 30 cm/sec 程度（1 時間平均）の値を得ている。しかし、それらの流れの変動特性（原因・速さ・頻度等）については調査資料に乏しいため、ほとんど未解明の状況にあった。底層付近の流れによる人工魚礁等の洗掘・埋没・転倒等の被災が考えられるため、その実態

把握を急ぎ、よりの確な設計流速の算定指針の作成が望まれていた。

本研究は、底層付近の流況に関する長期観測を行って、その実態把握を行い、海底構築物等の設計流速の算定指針作成のための基礎資料を得ることを目的として、昭和56年度より60年度までの5カ年間実施された。（本研究の沿整事業における大略の位置付けおよび研究フローを図1、図2に示す。）

その結果、従来沿岸海域の底層流況については断片的な見しか得られていなかったが、本研究により限られた海域についてはあるが長期（2年半～4年半）にわたる変動特性を明らかにすることができた。また、中村の提案した設計流速の算定方法（付録参照）についての検証を行うことができた。

なお、本論文は参考文献6)～13)に発表した内容にさらにその後の成果をも加え、論文としてまとめ直したものである。

### 2. 現地調査

沿岸域の底層における流れとしては潮汐流、吹送流、海流、表面波浪や内部波による変動流など種々のものが考えられる。また、その流況は海底性状によっても大き

\* 水産土木工学部（現在北海道開発局土木試験所）

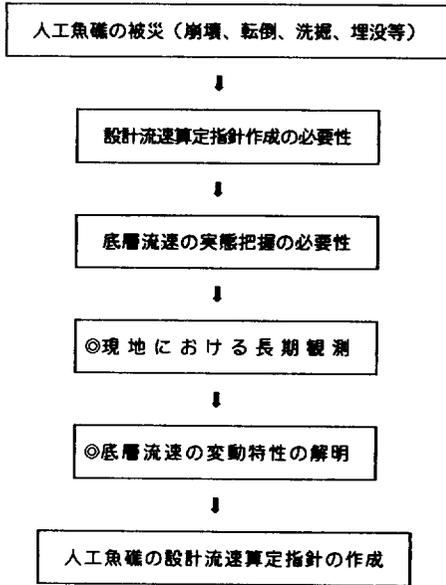


図1 本調査研究課題(◎)の沿整事業における位置づけ  
Position of this study

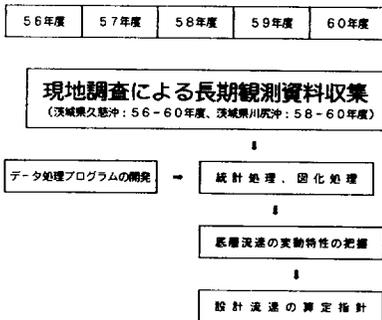


図2 調査研究フローチャート  
Flow chart of this study

な影響を受ける。したがって、本研究の目的を達成するためには、条件の異なった数多くの地点における長期間の観測資料を収集することが望ましい。しかしながら、種々の都合により図3に示す茨城県中部沿岸海域の2地点において現地調査を実施することとした。

2.1 調査地点

(1) 茨城県久慈沖人工魚礁付近 (以下久慈沖と略す)

茨城県那珂湊市磯崎灯台真方位40°, 13.6 km (日立港距岸約 8.6 km, 36°27.59'N, 140°42.78'E)。水深約 40 m, 海底形状は沖側 (東方向) にゆるやかに傾斜 (勾配約 1/250), 底質は中・粗砂。

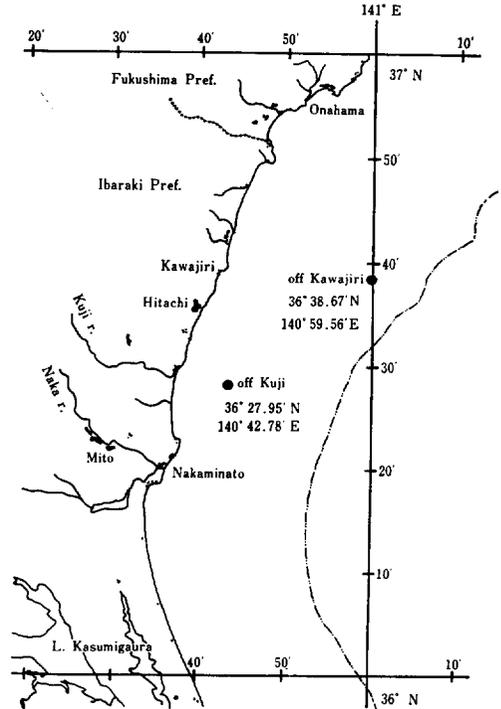


図3 調査地点位置図

Map showing the observation point

(2) 茨城県川尻沖天然礁付近 (以下川尻沖と略す)

茨城県川尻町川尻崎沖合二十数 km (約13マイル) の通称「小石川の磯」付近, 36°38.67'N, 140°59.56'E。水深約 130 m, 海底は沖側へゆるやかに約3/1,000の勾配で傾斜。

2.2 調査期間

(1) 久慈沖

昭和56年 5月～昭和60年12月

(2) 川尻沖

昭和58年 5月～昭和60年12月

2.3 調査方法と測定項目

調査地点の海底上約 2 m の位置に磁気テープ記録式流向流速計 (MTCM 4 型または同 5 型, 鶴見精機製) を設置係留し, 原則として 5 分間隔で流向・流速・水温・電導度を測定した。1 ヶ月毎に計器の設置・回収をくり返すことにより長期連続観測を行った。なお, その設置係留様式を図4に示す。計器のゆれを極力少なくするように浮力を十分にとり, またアバ玉は水中に没する状態にした。底面からアバ玉頂端までは約 5 m である。

2.4 解析方法と処理項目

データはカセットテープ (CMT) 上に記録される。

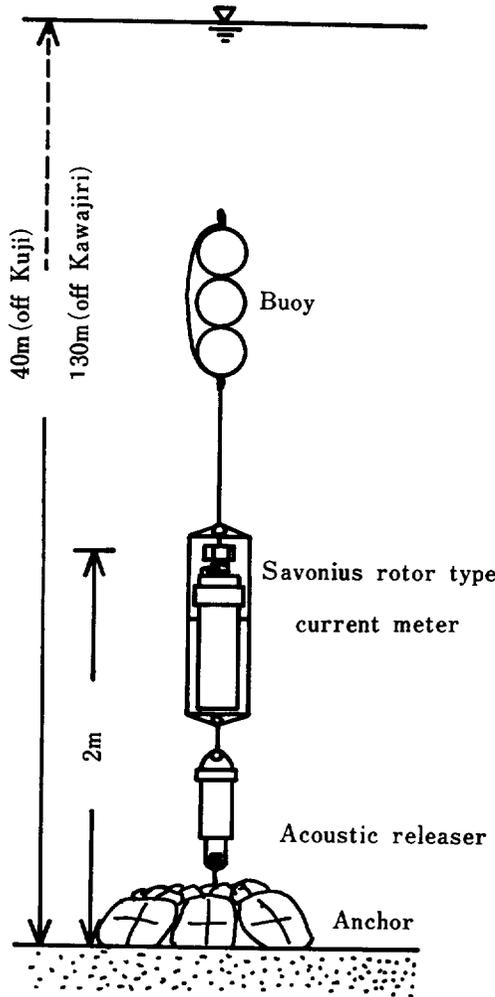


図4 流速計設置係留様式模式図

Schematic view of subsurface buoy system

これを解読装置を介してフロッピーディスク (FD) に移送する。次に、データ処理装置 (ミニコンピュータ) にて FD 上のデータ測得状況をチェックし、解析に使用可能なデータを分別する。その次に、必要な図化処理・統計処理等を行う。

ここでは、以下の項目について解析処理を行った。ただし、本論文では紙面の都合上結果の一部を示すにすぎないことをお断りする。なお、詳細については文献17) にまとめたので参照されたい。

- (1) 測得開始日時および測得終了日時のチェック
- (2) 測得期間中の生データの最大・最小・平均値 (絶対流速, 東方成分, 北方成分, 水温, 塩分)
- (3) データ接続 (2つ以上の測得期間でのデータ結合)

- (4) データ加工 (1時間平均, 1日平均, 25時間移動平均等)
- (5) 測得期間中の1時間平均データの最大・最小・平均値 (絶対流速, 東方成分, 北方成分, 水温, 塩分)
- (6) 生データの時系列変化の図示
- (7) 1時間平均データの時系列変化の図示
- (8) 1日平均データの時系列変化の図示
- (9) 25時間移動平均データの時系列変化の図示
- (10) 流向頻度分布・流向別平均流速の作表および図示
- (11) 累進ベクトルの図示
- (12) スペクトル解析およびその結果の図示
- (13) 流速頻度分布の作表および図示
- (14) 調和分解およびそれから求めた最大合成流等
- (15) その他

なお、これらの解析に用いたプログラムは一部を除き本研究にて独自に開発したものである。また、使用したデータ処理装置の記憶容量はユーザーエリアで約 94 KB である。

### 3. 調査結果

#### 3.1 測得状況

久慈沖で51回、川尻沖で31回の設置が行われ、それぞれ4ヶ年半、2ヶ年半にわたる長期観測資料が得られた (付表1, 2)。そのうち久慈沖で11回、川尻沖で3回がロータの回転不調等のため流速が欠測 (または欠測扱い) となったが、全期間を通じての測得率はそれぞれ約80%と90%であり、かなり良好な測得状況とみてよいであろう。

なお、流速はロータの5秒間の回転数から算出されるため、生データには表面波浪による変動流速が若干含まれている。ここでは、以下特にことわらない限り、それを除去するため1時間平均値を用いることにする。また図5, 6は日平均値の時系列変化を示したものであり、これにより年間を通しての測得状況 (空白部分が欠測) や流況変化の大略を知ることができよう。

#### 3.2 流向・流速

##### (1) 流向

図5, 6より両地点とも等深線沿いの流向の卓越していることがわかる。すなわち、大略の傾向としては、久慈沖では S および N 方向、川尻沖では SSW および NNE 方向の流れが多い。ただし、久慈沖では夏期は南寄りの流れの継続することもあるが、全般的に南寄りとは北寄りの流れが交互に生じるなど複雑な変化を示す。一方、川尻沖では秋から冬にかけて北寄りの流れが継続する他は、南寄りの流れの継続することが多い。これを月

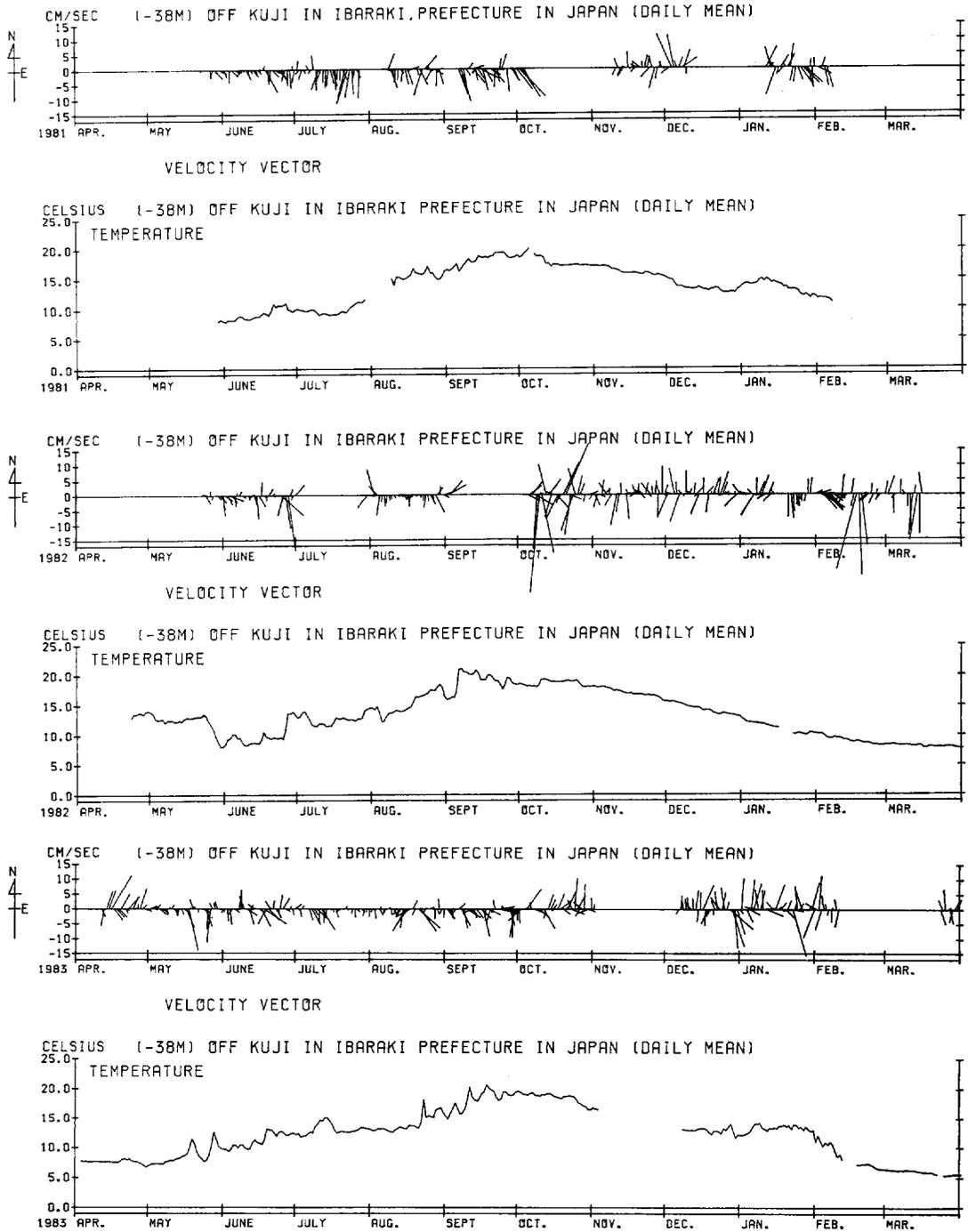


図5 流速ベクトル, 水温の時系列変化  
(日平均値, 久慈沖)

The time series of daily mean velocity vector and temperature off Kuji

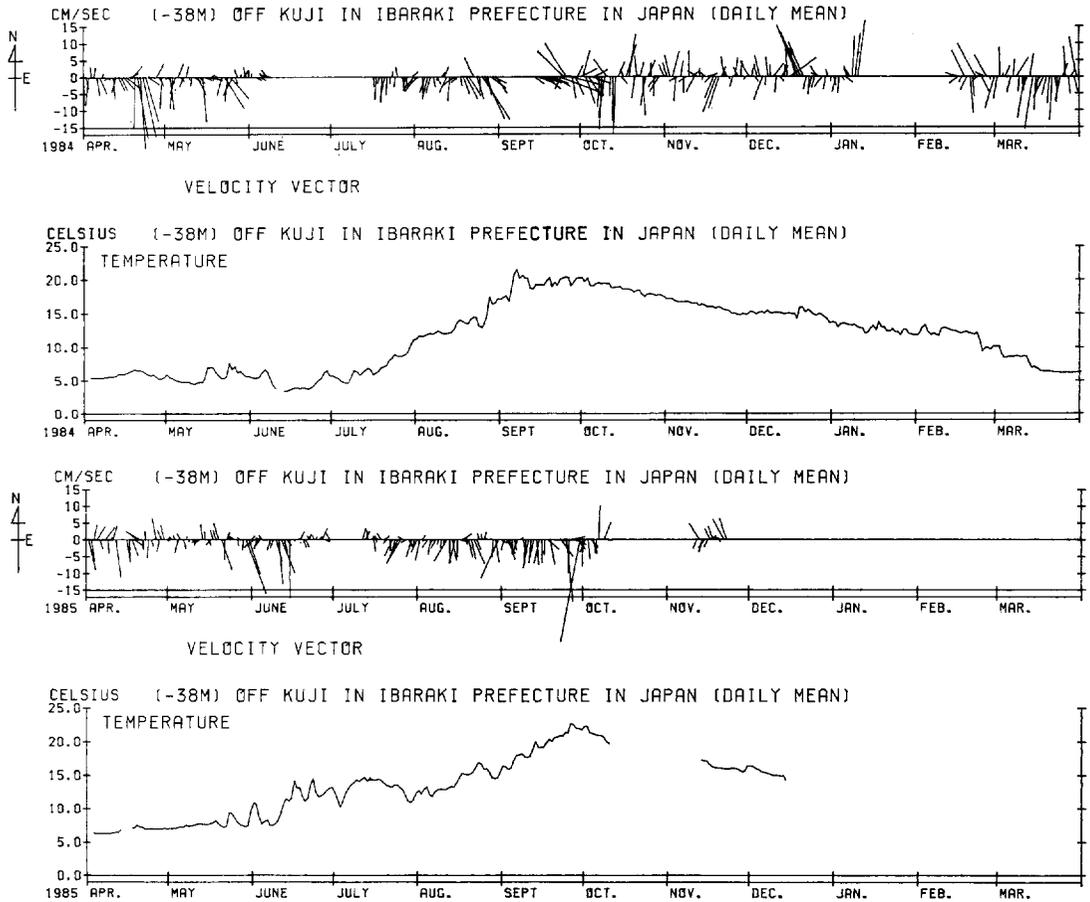


図5 (つづき) 流速ベクトル, 水温の時系列変化 (日平均値, 久慈沖)

別の流向頻度 (16方位) でみたのが付表 3, 4 である。

なお, 全測得期間を通しての流向頻度分布 (表 1) をみると, 久慈沖では SSE~SSW が 35%, NNW~NNE が 27%, 川尻沖では S~SW が 44%, N~NE が 17% などとなっている。

(2) 流速

① 流速頻度分布

表 2 に全測得期間を通しての流速頻度分布を示す。分割幅は 2.5 cm/sec とした。久慈沖では 2.5~7.5 cm/sec にピークがあり, 10 cm/sec 以下が 79%, 15 cm/sec 以下が 94%, 20 cm/sec 以下が 98% となっている。川尻沖では 10 cm/sec 以下が 69%, 15 cm/sec 以下が 87%, 20 cm/sec 以下が 95% である。最大値は久慈沖 46 cm/sec, 川尻沖 53 cm/sec である。また 25 cm/sec を越える頻度は久慈沖 0.7% に対し川尻沖 2.0% となっており, 川尻沖の方が水深が深いにもかかわらず強い流れの頻度が多い。なお, 平均値はそれぞれ 7.4 cm/sec, 8.0 cm/sec

であった。

② 流向別平均流速

流向別の平均流速は久慈沖では 5.4~8.7 cm/sec, 川尻沖では 4.0~9.8 cm/sec であった (表 1)。流向による差はそれほど顕著なものではないが, 南北方向でやや大きいようである。なお, 川尻沖では沖に向う「出し潮」のあるため, 東方向でも若干大きい値となっている。

③ 周期特性

図 7 に流速変動のスペクトル解析結果の一例を示す。横軸は周波数, たて軸はパワースペクトル密度である。上の横軸は周期を示すためのもので  $H$  は 1 時間,  $D$  は 1 日,  $W$  は 1 週間を示す。

図の 1 日および半日の周期にみられるピークは潮汐流によるもので, 2 日以上周期のいくつかのピークは吹送流やその他の成分によるものと考えられる。また, 半日周期以上の高周波領域のスペクトルは周波数の  $-5/3$  乗に比例して減衰している。

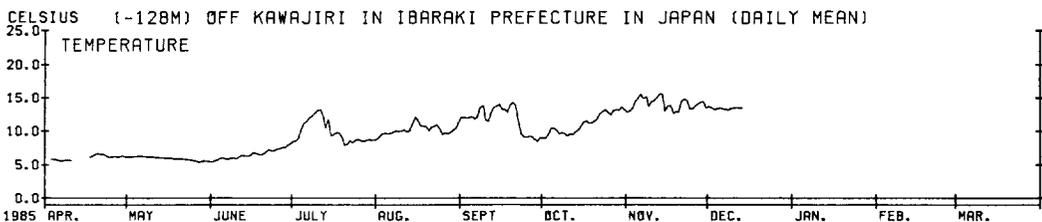
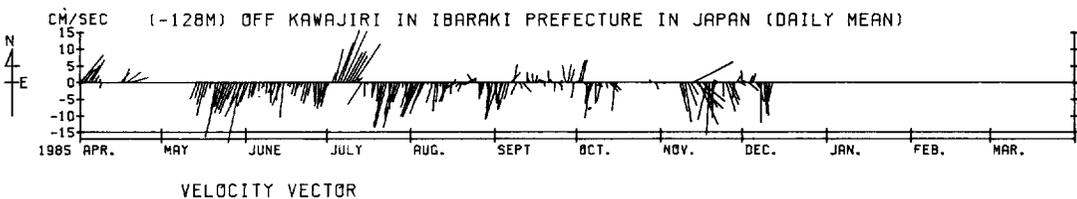
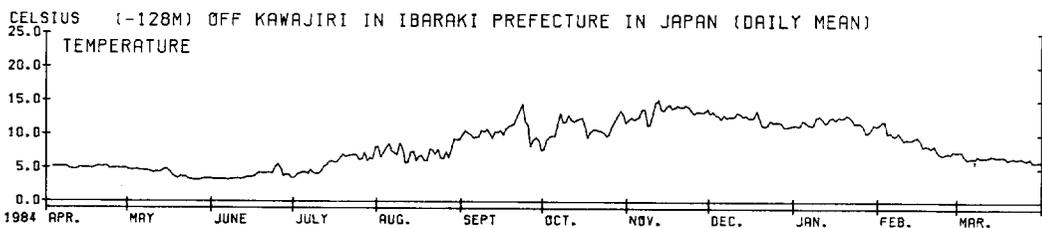
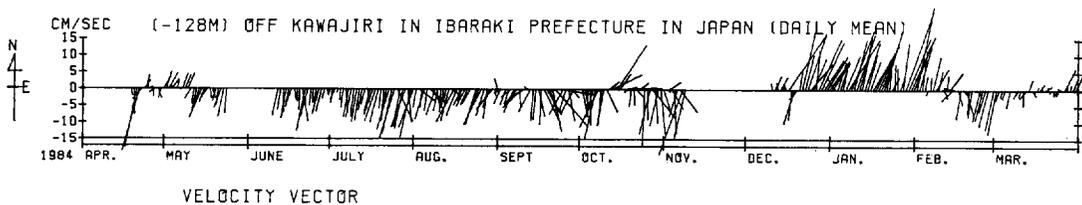
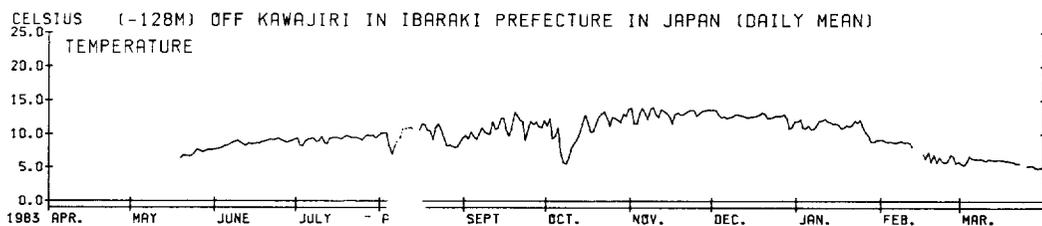
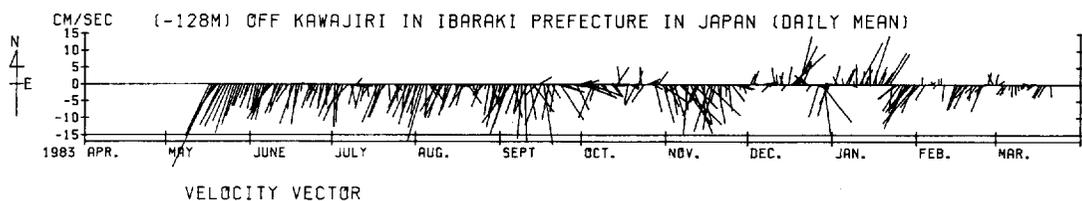


図6 流速ベクトル, 水温の時系列変化  
(日平均値, 川尻沖)

The time series of daily mean velocity vector and temperature off Kawajiri

表 1 流向頻度分布・流向別平均流速

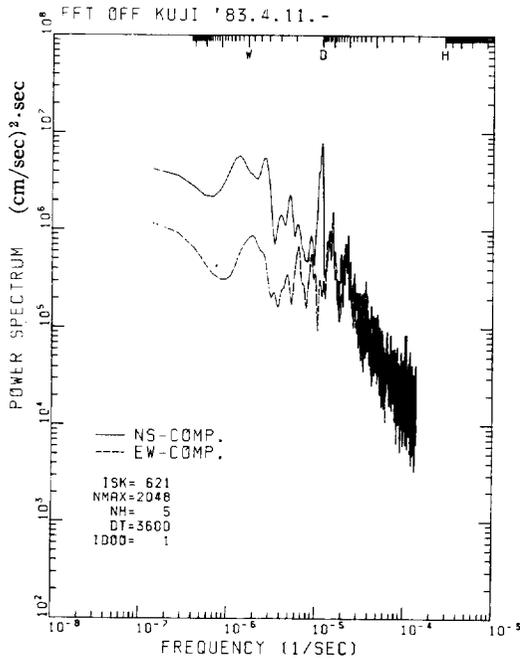
Occurrence frequency distribution of current and mean velocity for each direction

流 向 (16方位)	茨城県久慈沖			茨城県川尻沖		
	度 数	頻 度 (%)	流 速 (cm/s)	度 数	頻 度 (%)	流 速 (cm/s)
N	3012	10.87	7.10	1095	5.48	8.02
NNE	2260	8.16	6.69	1494	7.48	9.83
NE	1105	3.99	6.38	885	4.43	7.19
ENE	717	2.59	5.73	571	2.86	6.34
E	696	2.51	6.82	481	2.41	8.02
ESE	1094	3.95	8.35	581	2.91	9.63
SE	2014	7.27	8.36	886	4.44	9.64
SSE	2972	10.73	8.50	1550	7.76	9.48
S	3883	14.02	8.74	3151	15.78	9.28
SSW	2952	10.65	8.02	3849	19.27	9.41
SW	1464	5.28	6.39	1707	8.55	7.57
WSW	794	2.87	5.49	801	4.01	5.41
W	572	2.06	5.42	479	2.40	4.52
WNW	627	2.26	5.93	466	2.33	4.04
NW	1166	4.21	6.58	514	2.57	4.87
NNW	2324	8.39	7.16	689	3.45	5.38
CALM	54	0.19		771	3.86	
総度数	27706		7.4	19970		8.0

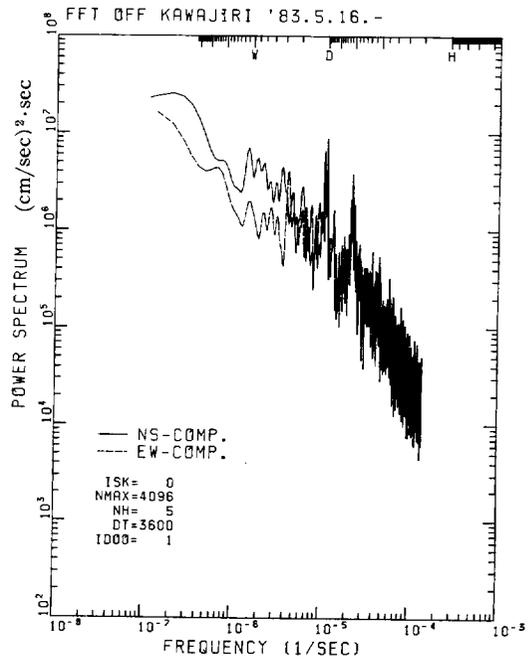
表 2 流速頻度分布

Occurrence frequency distribution of current velocity

区 間 (cm/sec)	茨城県久慈沖		茨城県川尻沖	
	度 数	(%)	度 数	(%)
0.0-2.5	1377	4.97	3892	19.49
2.5-5.0	7393	26.68	3777	18.91
5.0-7.5	8199	29.59	3259	16.32
7.5-10.0	4979	17.97	2836	14.20
10.0-12.5	2677	9.66	2183	10.93
12.5-15.0	1473	5.32	1504	7.53
15.0-17.5	735	2.65	999	5.00
17.5-20.0	380	1.37	579	2.90
20.0-22.5	203	0.73	342	1.71
22.5-25.0	97	0.35	213	1.07
25.0-27.5	60	0.22	148	0.74
27.5-30.0	43	0.16	102	0.51
30.0-32.5	30	0.11	58	0.29
32.5-35.0	32	0.12	30	0.15
35.0-37.5	16	0.06	24	0.12
37.5-40.0	7	0.03	5	0.03
40.0-42.5	4	0.01	7	0.04
42.5-45.0	0	0.00	7	0.04
45.0-47.5	1	0.00	1	0.01
47.5-50.0	0	0.00	3	0.02
50.0-52.5	0	0.00	0	0.00
52.5-55.0	0	0.00	1	0.01
総 度 数	27706		19970	
最 大 値	46.1 cm/sec		52.9 cm/sec	
平 均 値	7.4 cm/sec		8.0 cm/sec	



(a)



(b)

図 7 スペクトル解析結果  
Kinetic energy spectra

(a) 久慈沖, (b) 川尻沖  
(a) off Kuji, (b) off Kawajiri

なお、潮流の調和解による結果では  $O_1$  潮 (主太陰日周潮),  $K_1$  潮 (日月合成日周潮) および  $M_2$  潮 (主太陰半日周潮) の卓越することが多かった。

図8は川尻沖における累進ベクトルの一例であるが、この例では4~5日周期での流向変化がみられた。Kubota<sup>18)</sup> は本調査海域よりも北の福島県沖にて100時間周期の陸棚波を観測しており、これとの関連性があるものと思われる。

④ 最大流速

表3, 4に各測得期間中の流速の最大値等を示す。測得日数は端数を切捨ててある。生データは表面波浪によるノイズを含んだ値であり、参考までに示した。恒流とはここでは測得期間中の平均流速である。最大合成流は調和解 (日周潮以内22分潮) により求めた各分潮の振幅の合算値と恒流とのベクトル和をとったものである。なお、付表5に月別の最大流速, 平均流速, 標準偏差を示したので合わせて参照されたい。

1時間平均最大値は久慈沖で10~46 cm/sec, 川尻沖で15~53 cm/sec, 最大合成流の1.58倍はそれぞれ15~51 cm/sec および11~59 cm/sec であった。大きな値は夏から秋の台風シーズンや冬の強い低気圧の時期, あるいは春秋の大潮の頃に得られるようである。

たとえば、図9は久慈沖の昭和57年10月の例であるが、10月8日から10日にかけて台風8221号が観測地点の南から東へと沖合いを接近通過したため強い南流が継続し、最大流速は46.1 cm/sec であった。

一方、水深の深い川尻沖では台風や低気圧の直接の影響は少なく、間接的影響によって大きな値の生じることが多いようである。たとえば図10の川尻沖の昭和59年9月末から10月の例では、この期間南東ないし東南東に沖向きへ強く流れる「出し潮」が1日あるいは半日周期で生じており、その最大は10月2日の52.9 cm/sec であった。なお、このとき9月30日から10月1日にかけて台風8415号, 同8416号がはるか東方沖合いを通過していた。したがって、水温変動等をも考慮すると、これらの擾乱を受けて内部潮汐が発達したためとも考えられる。

3.3 水温

本海域では親潮系水と黒潮系水の両者の勢力関係により、時おり急激な水温の上昇や低下がみられる。図5, 6に示されるように、それが著しい場合には1日のうちに5°C以上も変化することがある。

最低水温は久慈沖で3~5月頃に6~7°C, 川尻沖で3~6月頃に5°C程度となる。ただし、59年度(1984年)は異常冷水が6月末までつづき3°C台となった。最高水温は久慈沖で9~10月頃に20~23°C, 川尻沖では

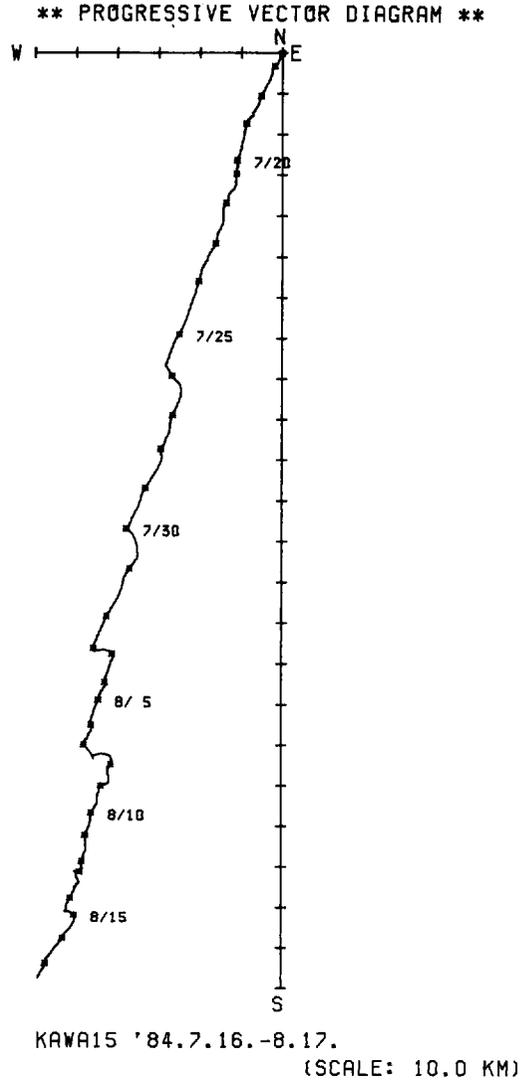


図8 累進ベクトルの一例  
Progressive vector diagram

時期は明確ではないが11~12月頃に15~16°Cである。

なお、水温の上昇・低下と流向変化とは必ずしも対応していない。たとえば、南流時に水温低下のこともあれば水温上昇のこともある。したがって、本海域での水塊配置はかなり複雑なものと考えられる。

また、底層であるためか日周期的な水温変動はほとんどみられず、水塊の移動に伴う変動が大きい。

4. 考察

4.1 変動特性の相互比較

以上述べたように、久慈沖と川尻沖とはその変動特

表 3 流速最大値一覧表 (茨城県久慈沖底層流速調査)

Some kinds of representative velocities off Kuji

通算 回数	① 測得期間 (又は設置期間)	② 日数	③生データ 最大値	④1時間平 均最大値*	⑤ 恒 流	⑥最大合成 流×1.58	⑦ **×1.58
1	56. 5.26.- 6.23.	27	35.0	22.3	2.1	31.9	25.3
2	56. 6.23.- 7.28.	34	34.5	17.8	3.8	32.0	22.0
3	56. 8. 7.- 8.31.	23	94.0	33.5	2.3	34.4	28.9
4	56. 9. 6.-10. 4.	28	39.6	24.8	4.7	42.7	26.5
5	56.10. 5.-11.10.	-	-	-	-	-	-
6	56.11.10.-12.10.	29	35.0	18.0	1.6	25.5	21.0
7	56.12.10.- 1.11.	-	-	-	-	-	-
8	57. 1.11.- 2. 7.	26	35.9	16.4	1.6	21.6	19.6
9	57. 4.20.- 5.24.	-	-	-	-	-	-
10	57. 5.24.- 6.28.	34	61.0	33.9	2.2	27.9	35.9
11	57. 6.28.- 7.30.	-	-	-	-	-	-
12	57. 7.30.- 8.30.	30	39.8	21.7	1.4	26.4	16.3
13	57. 8.30.-10. 4.	-	-	-	-	-	-
14	57.10. 4.-11. 8.	34	83.9	46.1	1.8	21.6	58.3
15	57.11. 8.-12.10.	31	54.3	24.4	0.5	15.4	29.1
16	57.12.10.- 1.15.	36	23.4	17.1	1.2	20.5	22.8
17	58. 1.20.- 2.10.	20	30.4	19.2	3.7	17.4	20.7
18	58. 2.10.- 3.16.	34	81.7	37.2	3.7	22.2	48.3
19	58. 3.16.- 4.11.	-	-	-	-	-	-
20	58. 4.11.- 5.16.	34	45.5	19.5	1.6	16.8	25.4
21	58. 5.16.- 6.10.	24	34.5	25.3	1.7	24.3	26.7
22	58. 6.10.- 7. 8.	27	53.6	20.9	1.5	29.7	16.0
23	58. 7. 8.- 8.12.	34	35.8	16.6	1.7	21.5	19.4
24	58. 8.12.- 9. 9.	27	57.8	26.1	2.4	24.9	19.9
25	58. 9. 9.-10. 7.	28	47.4	21.3	2.6	24.0	27.7
26	58.10. 7.-11. 2.	25	31.7	18.1	1.7	22.6	22.0
27	58.11. 2.-12. 6.	-	-	-	-	-	-
28	58.12. 6.- 1. 6.	30	46.5	18.2	0.7	17.3	23.1
29	59. 1. 6.- 2.11.	36	52.1	29.1	1.2	19.5	30.7
30	59. 2.16.- 3.21.	-	-	-	-	-	-
31	59. 3.23.- 4.18.	25	56.1	18.0	1.9	17.9	17.9
32	59. 4.18.- 5.14.	25	60.7	32.8	5.0	28.1	46.3
33	59. 5.14.- 6. 9.	26	41.7	21.1	1.4	29.1	24.8
34	59. 6.11.- 7.16.	-	-	-	-	-	-
35	59. 7.16.- 8.17.	32	42.7	22.5	2.8	33.0	23.4
36	59. 8.17.- 8.31.	14	53.6	33.9	5.1	51.1	31.4
37	59. 9.13.-10.11.	27	84.5	38.0	3.5	43.9	37.9
38	59.10.11.-11. 9.	28	65.3	32.8	0.6	25.7	34.3
39	59.11. 9.-12.10.	30	51.7	24.5	0.4	16.2	31.4
40	59.12.10.- 1.11.	31	51.1	27.9	2.2	22.0	32.2
41	60. 1.11.- 2.15.	-	-	-	-	-	-
42	60. 2.15.- 3. 8.	21	65.2	24.3	1.3	19.2	25.8
43	60. 3. 8.- 4.12.	35	64.6	36.2	2.9	18.4	46.9
44	60. 4.15.- 5.13.	27	53.7	16.3	0.6	18.4	18.5
45	60. 5.13.- 6.17.	34	51.0	30.9	2.5	33.3	38.0
46	60. 6.17.- 7.11.	12	24.8	15.8	0.8	29.7	12.0
47	60. 7.11.- 8.12.	31	46.9	21.1	1.8	32.1	20.8
48	60. 8.12.- 9. 9.	27	48.0	19.1	3.2	21.5	22.5
49	60. 9. 9.-10. 9.	29	70.0	39.7	5.1	34.6	52.5
50	60.10. 9.-11.11.	-	-	-	-	-	-
51	60.11.11.-12.13.	12	20.7	10.5	2.0	16.4	13.2

\*加算平均値 \*\*12時間移動平均最大値

(単位: cm/sec)

表4 流速最大値一覧表 (茨城県川尻沖底層流速調査)

Some kinds of representative velocities off Kawajiri

通算 回数	① 測得期間 (又は設置期間)	② 日数	③ 生データ 最大値	④ 1時間平 均最大値*	⑤ 恒流	⑥ 最大合成 流×1.58	⑦ **×1.58
1	58. 5.16.- 6.10.	24	53.8	34.7	10.7	33.4	47.7
2	58. 6.10.- 7.8.	27	49.5	25.0	6.9	26.0	23.7
3	58. 7.8.- 8.12.	34	50.5	24.8	7.1	34.2	29.7
4	58. 8.12.- 9.9.	27	56.5	30.5	6.6	31.6	29.5
5	58. 9.9.-10.7.	27	67.6	49.1	6.1	36.3	37.6
6	58.10.7.-11.2.	25	56.5	41.8	2.2	40.4	33.0
7	58.11.2.-12.6.	33	45.5	41.4	6.3	37.9	40.4
8	58.12.6.- 1.6.	30	30.4	20.2	1.0	12.3	25.6
9	59. 1.6.- 2.11.	36	31.7	23.7	0.7	15.6	33.5
10	59. 2.14.- 3.21.	36	22.1	17.0	2.7	12.8	19.8
11	59. 3.23.- 4.18.	-	-	-	-	-	-
12	59. 4.18.- 5.14.	25	45.5	36.7	1.5	22.2	50.1
13	59. 5.14.- 5.24.	9	37.2	23.3	5.2	40.2	19.4
14	59. 6.11.- 7.16.	34	36.9	18.5	6.1	25.9	24.3
15	59. 7.16.- 8.17.	32	37.3	33.8	8.5	31.4	29.5
16	59. 8.17.- 9.13.	26	51.8	30.9	5.2	33.7	32.7
17	59. 9.13.-10.11.	27	72.9	52.9	7.7	55.1	39.5
18	59.10.11.-11.9.	28	57.8	46.7	5.1	59.4	38.7
19	59.11.9.-12.10.	-	-	-	-	-	-
20	59.12.10.- 1.11.	31	34.3	28.3	8.1	30.6	38.7
21	60. 1.11.- 2.15.	35	39.6	36.9	9.3	28.1	46.7
22	60. 2.15.- 3.8.	20	29.0	23.1	5.5	20.0	29.9
23	60. 3.8.- 4.9.	32	23.4	15.0	1.6	11.7	21.0
24	60. 4.15.- 5.13.	-	-	-	-	-	-
25	60. 5.13.- 6.17.	35	39.8	28.7	6.2	30.4	37.9
26	60. 6.17.- 7.11.	23	42.7	32.3	1.2	18.7	34.5
27	60. 7.11.- 8.12.	31	30.3	22.5	6.3	30.3	28.1
28	60. 8.12.- 9.9.	27	26.2	18.6	3.5	20.4	19.7
29	60. 9.9.-10.9.	30	43.9	29.3	0.2	21.3	22.5
30	60.10.9.-11.11.	32	38.6	25.2	1.7	11.2	23.4
31	60.11.11.-12.13.	30	44.4	35.6	5.0	29.7	41.5

\*加算平均値 \*\*12時間移動平均最大値

(単位: cm/sec)

性にいくつかの相異がみられる。主な相異点を挙げれば次の通りである。

- ① 川尻沖では一定流向の継続することが多いが、久慈沖ではそれほど一定していない。
- ② 川尻沖では夏から秋(8~11月)に「出し潮」が頻出するが、久慈沖での頻度は多くない。
- ③ 久慈沖では表面波浪の影響を受けやすいが、川尻沖ではほとんど影響を受けない。
- ④ 長周期領域のパワースペクトル密度は久慈沖ではほぼ一定であるのに対し、川尻沖では長周期になるほど増大する。すなわち、久慈沖では恒流成分が小さいが、川尻沖では大きい。
- ⑤ 短周期領域(半日以下)のパワースペクトル密度は久慈沖の方が川尻沖よりも若干大きい。すなわち、小さな変動が久慈沖で若干多い。
- ⑥ 久慈沖では絶えず流速があるが、川尻沖では憩流がみられる。しかし、大きな流速の頻度は川尻沖の

方が多い。

これらは、水深や距岸距離等の相異や鹿島灘全域としての流動特性によるものであろう。

鹿島灘全域をみると、銚子沖に東方へ抜ける黒潮を補う形で南下流の頻度が高い。しかし、黒潮の暖水舌の侵入や親潮と黒潮の勢力の強弱等により流況は複雑に変化する<sup>19)</sup>。川尻沖はほぼこれらに支配されているものと思われるが、久慈沖ではさらに陸岸等の影響が強くなるため沖合いとは若干異なるものと思われる。

#### 4.2 設計流速の算定方法

一般に海中での流れはだまかには次の三つの成分に分けて考えることができる。

- ① 表面波浪による変動流
- ② 潮流流
- ③ その他(吹送流, 密度流, 海流など)

①については波浪のデータが得られればその値を推算することが可能である。また、本調査では①の値を直接測

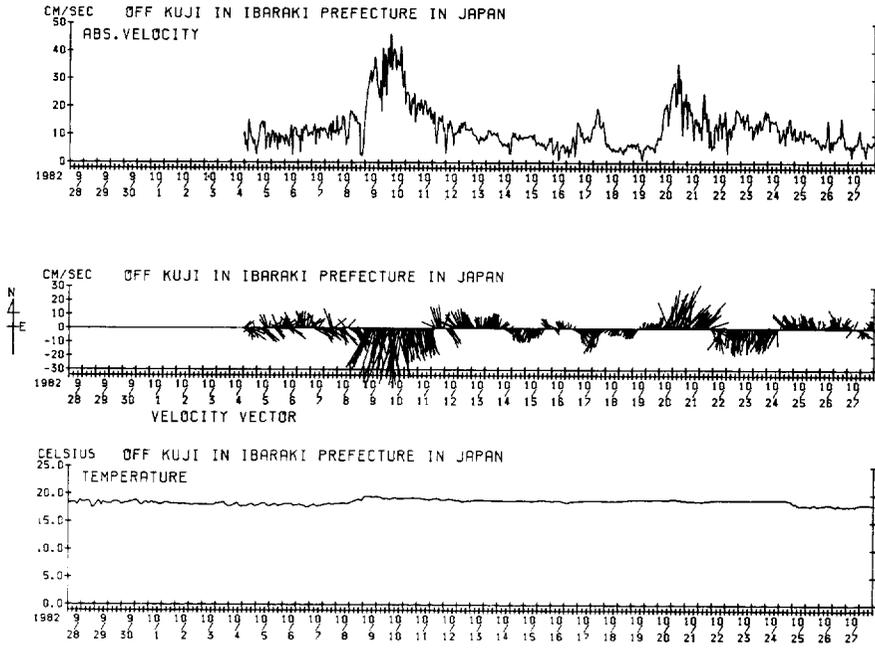


図 9 最大流速の測得例 (久慈沖)

The time series of current velocity when the maximum was obtained off Kuji

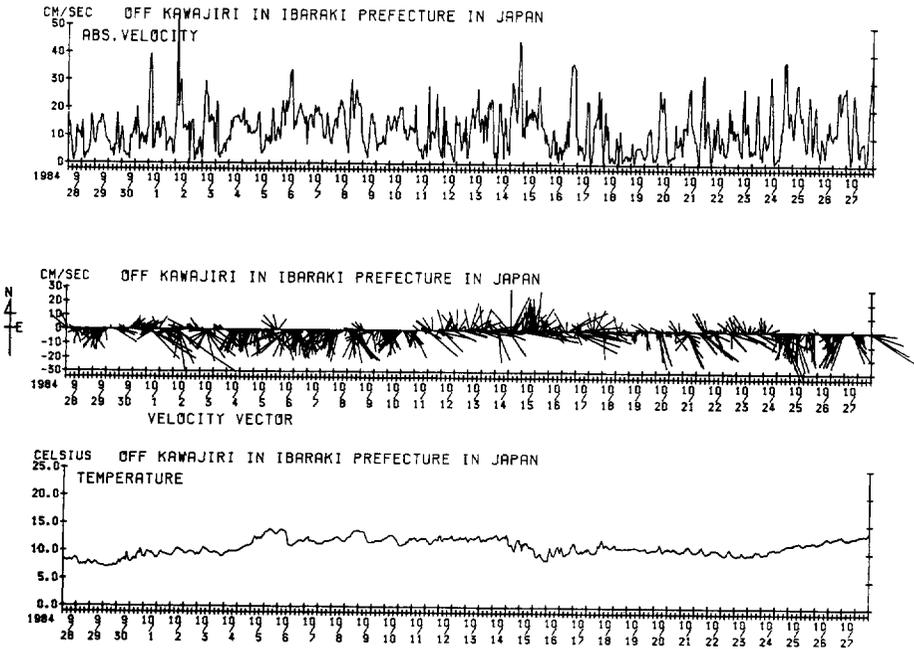


図 10 最大流速の測得例 (川尻沖)

The time series of current velocity when the maximum was obtained off Kawajiri

定することはしていないので、ここでは②、③について考えることとし、1時間平均値を用いることにする。

中村<sup>14)</sup>は設計流速は「流速の卓越する季節に設置点における15日以上連続観測を行い調和定数を求め、これから最大合成流を算定し(必要であればこれに吹送流等を加え)、この1.58倍をとる」ことを提案している。なお、望月<sup>15)</sup>は「設計流速は過去の記録の中で最大のもの、もしくは統計的に起り得る最大のものとする」としているが、海中流速についての過去の記録はそれほど多くなく、統計的な処理に耐え得る資料も極めて少ないのが現状であろう。また、文献16)においては「適当な方法により定められるべきである」と述べているにすぎない。

ここでは、中村の提案した方法について検証を試みることにしよう。なお、中村はその後最大合成流又は12時間移動平均最大値のいずれか大なる方の1.58倍をとるよう修正した。本調査資料について調和分解から求めた最大合成流および12時間移動平均最大値を1.58倍した値等は表3、4に示す通りである。表中⑥、⑦のいずれか大なる方と実測最大値としての④とを比較してみると、ごく一部の例外を除いて前者の方が大きい。また、最大合成流を1.58倍した値は最大で51 cm/sec(久慈沖)、59 cm/sec(川尻沖)であるのに対し、実測最大流速は46 cm/sec(久慈沖)、53 cm/sec(川尻沖)であった。したがって、本調査資料に関する限りでは推算値の方が実測最大値よりも大きく、中村の提案した方法はほぼ妥当であることが実証された。(なお、④の方が大きかった一部の例外については「出し潮」等の現象があったためと考えられるので、これを加味して推算する必要がある。)

しかしながら、実際への適用にあたってはいくつかの問題点や留意点が残されている。たとえば、次のようなものがある。

- ① 観測を流れの卓越する季節に行わねばならないが、その季節はいつが適当か。
- ② 潮汐流や吹送流については算定可能であるとしてもその他の成分はどのように加味すべきか。12時間移動平均最大値をも考慮することにより多少改善されるものの、「出し潮」のような現象についてさらに考慮が必要となる。
- ③ 基本的にはこの方法でよいとしても、海域により変動特性が異なるであろうから、他の海域のデータについてさらに検証する必要はないか。

## 5. おわりに

以上、茨城県中部沿岸海域の2地点にて行った底層流速の長期観測結果と若干の考察を述べた。本研究の中間

結果等をもとに沿整構造設計指針(昭和59年度改訂版)に設計流速の算定方法が規定されるに至り、本研究の所期の目的は達成された。

なお、本研究は沿整直轄研究「底層付近の流れの基本的性質」(昭和56~60年度)および農水省大型別枠研究MRP-II-3-(1)-①-a「底層流の解析手法」(昭和58~60年度)の一部である。また、現地調査は茨城県水産試験場漁業部の協力を得て実施され、計器の設置・回収には同水試沿岸漁業指導船「ときわ」を利用させていただいた。ここに、関係各位に感謝の意を表する。

## 参考文献

- 1) 平啓介・今脇俊郎・寺本俊彦(1979): 低レベル放射線廃棄物の処分候補地点における測流, 堀部純男編「環境科学としての海洋学3」, 東京大学出版会, 30-41。
- 2) 岡崎守良(1984): 深海底層流の観測, *La mer*, 20, 175-214。
- 3) Weatherly G.L. and J.C. Van Leer (1977): On the importance of stable stratification to the western Florida Shelf, 103-122, In J.C.J. Nihoul (ed.) "Bottom Turbulence", Elsevier, Amsterdam, 306 pp.
- 4) Kundu, P.K. (1977): On the importance of friction in two typical continental waters: off Oregon and Spanish sea, 187-207, In J.C.J. Nihoul (ed.) "Bottom Turbulence", Elsevier, Amsterdam, 306 pp.
- 5) Weatherly, G.L. (1977): Bottom boundary observations in the Florida current, 237-254, In J.C.J. Nihoul (ed.) "Bottom Turbulence", Elsevier, Amsterdam, 306 pp.
- 6) 武内智行・乃万俊文(1983): 久慈沖(茨城県)底層流速調査(第1報), 水産工学研究所技報, 水産土木第4号, 11-44。
- 7) 武内智行(1983): 沿岸海域における底層流速の長期観測, 第40回海岸工学講演会論文集, 617-621。
- 8) 武内智行(1984): 茨城県久慈沖底層流速調査(第2報), 水産工学研究所技報, 水産土木第5号, 65-89。
- 9) 武内智行(1985): 茨城県川尻沖底層流速調査-I, 水産工学研究所技報, 水産土木第6号, 81-109。
- 10) 武内智行(1985): 茨城県久慈沖底層流速調査-III, 水産工学研究所技報, 水産土木第6号, 111-139。
- 11) 武内智行(1986): 茨城県川尻沖底層流速調査-II, 水産工学研究所技報, 水産土木第7号, 99-127。

- 12) 武内智行(1986)：茨城県久慈沖底層流速調査・IV，水産工学研究所技報，水産土木第7号，129—156。
- 13) Tomoyuki, TAKEUCHI (1986)：Investigation on the Characteristics of Bottom Layer Flow in Coastal Area, Proceedings of fifth OMAE Symposium, vol. 1, 597—602, ASME-I00194。
- 14) 中村充(1983)：漁場工学（水産土木）入門，水産の研究，緑書房，通巻3号，81—88。
- 15) 望月重・小林浩(1976)：海洋建築物の設計と実際，鹿島出版会，271。
- 16) American Petroleum Institute (1981)：API Recommended Practice for Planning, Designing, and Constructing Fixed Offshore Platforms, 13。
- 17) 水工研漁場水理研究室(1986)：茨城県中部海域における底層流速の変動特性調査資料集，457 pp。
- 18) Kubota, M. (1981)：Continental shelf waves off the Fukushima coast Part I: Observation, Journal of Oceanographical Society of Japan, 37, 267—278。
- 19) 茨城県水産試験場：茨城県漁海況速報，56～60年度分。

付録・設計流速の算定の根拠

中村が提案した設計流速の算定方法の理論的根拠は次の通りである<sup>14)</sup>（原文を一部改変してここに掲載する）。「海洋流は潮汐周期の流れと各種の周期の変動流から成立っている。変動流速  $v_1, v_2$  が合成されると，ベクトル和としてその大きさ  $v$  は  $\theta_{12}$  を  $v_1$  と  $v_2$  の成す角として，

$$v^2 = v_1^2 + v_2^2 + 2v_1v_2 \cos \theta_{12} \dots\dots\dots(1)$$

で表わされる。これを，多くの乱流成分の和としてかけば

$$v^2 = \sum_i v_i^2 + 2 \sum_{i \neq j} v_i v_j \cos \theta_{ij} \dots\dots\dots(2)$$

となる。

等方性乱流では

$$\sum_{i \neq j} v_i v_j \cos \theta_{ij} \approx 0 \dots\dots\dots(3)$$

が成立つので，(2)式は右辺第1項のみとなり，両辺に  $\rho/2$  ( $\rho$ : 海水密度) をかけて

$$\rho v^2/2 = \sum_i \rho v_i^2/2 \dots\dots\dots(4)$$

を得る。すなわち，等方性乱流場での合成流速の自乗は各変動流速成分の速度エネルギーの合計値として与えられると考えられる。

周波数解析(スペクトル解析)したとき，エネルギー  $w$  の分布は模式的に図11のようになることが多い。図中  $f_1$  より短い周波数の流れは潮流や海流のように日月の引力や貿易風のように外部からエネルギーを受けて発生する

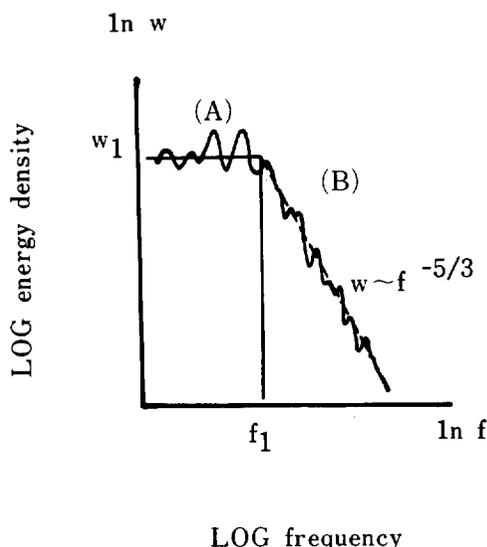


図 11 エネルギー密度の分布形模式図  
Energy density distribution

流れであるが， $-5/3$ の勾配をもつスペクトル部分は大きな渦 ( $f$  の小さい変動流) からエネルギーを受けて小さな渦にエネルギーを伝えるだけの渦の領域で，これを慣性領域と呼び，エネルギー伝達の割合が $-5/3$ 乗になることをコルモゴロフは理論的に示し，実測によっても確かめられている。変動流速としては慣性領域の渦を扱えばよいから， $f$  を流れの周波数として，全流速エネルギー  $W$  は

$$W = \int_0^{\infty} wdf, \quad \frac{dW}{df} = w \dots\dots\dots(5)$$

慣性領域の  $w$  の分布形はコルモゴロフの  $-5/3$  乗則にしたがうから，

$$\ln w = -\frac{5}{3} \ln f + C \dots\dots\dots(6)$$

慣性領域の最小振動数 (最大周期) を  $f_1$ ，そのときのエネルギーを  $w_1$  とすれば，(6)式は

$$\frac{w}{w_1} = \left(\frac{f}{f_1}\right)^{-5/3} \dots\dots\dots(7)$$

(5)式に(7)式を代入して

$$W = \int_0^{f_1} w_1 df + \int_{f_1}^{\infty} w df = w_1 f_1 \left(1 + \frac{3}{2}\right) = 2.5 w_1 f_1 \dots\dots\dots(8)$$

これより，慣性領域の流れエネルギーは潮流等のエネルギーを外部から受取る領域 (調和解等によって推算される流速  $u_H$ ) の流速エネルギー量の1.5倍であることがわかる。したがって，設計流速  $u$  は

$$\frac{\rho u^2}{2} = \frac{\rho u_H^2}{2} \times 2.5 \dots\dots\dots(9)$$

すなわち，調和解等によって得られる最大流速の1.58倍が数分以上継続して生じる流速となる。」

付表1 測得状況一覽 (久慈沖)  
Field observation of bottom layer flow off Kuji

通算 回数	設置 年度	設置期間 (切離)		測得期間		流速計 型式 番号	測定 間隔	データ 数	備考
		(投入)	(切離)	(始)	(終)				
1	56	5.26.10:30	6.23.9:53	5.28.10:35	6.23.9:50	MTCM-4, No.96959	5分	8056	塩分計欠
2	56	6.23.10:00	7.28.10:20	6.28.10:10	7.28.10:15	MTCM-5, No.93685	5分	10082	
3	56	8.7.10:00	8.31.9:45	8.7.10:05	8.31.9:45	MTCM-5, No.94212	5分	6909	
4	56	8.31.9:55	10.5.9:52	8.31.10:55	10.4.20:00	MTCM-4, No.97214	5分	9902	塩分計欠, 流速一部欠
5	56	10.5.9:56	11.10.10:46	10.5.10:05	11.10.10:30	MTCM-4, No.96959	5分	10374	流速欠, 流速多し
6	56	11.10.10:51	12.10.9:42	11.10.11:55	12.10.9:40	MTCM-4, No.97214	5分	8614	
7	56	12.10.9:46	1.11.10:00	12.10.10:20	1.11.9:40	MTCM-6, No.97771	10分	4605	計器不良 (水温正常)
8	56	1.11.10:06	2.19.9:50	1.11.10:15	2.7.2:25	MTCM-4, No.96959	5分	7683	
9	57	4.20.11:49	5.24.10:12	4.20.11:50	5.24.10:10	MTCM-5, No.94211	5分	9773	流速ほとんど欠
10	57	5.24.10:20	6.28.10:13	5.24.10:25	6.28.10:10	MTCM-4, No.96959	5分	10078	
11	57	6.28.10:25	7.30.11:43	6.28.10:30	7.30.11:40	MTCM-5, No.94211	5分	9231	流速二日半のみ
12	57	7.30.11:44	8.30.9:42	7.30.11:55	8.30.9:40	MTCM-4, No.97214	5分	8902	
13	57	8.30.9:54	10.4.10:36	8.30.10:05	10.4.10:40	MTCM-5, No.94211	5分	10088	流速三日半のみ
14	57	4.10:45	11.8.10:08	10.4.10:50	11.8.10:05	MTCM-4, No.96959	5分	10072	
15	57	8.10:15	12.10.9:40	11.8.10:20	12.10.9:40	MTCM-4, No.97214	5分	9209	
16	57	12.10.9:45	1.20.10:00	12.10.9:50	1.15.22:35	MTCM-4, No.96959	5分	10522	
17	57	1.20.10:08	2.10.9:52	1.20.10:10	2.10.9:50	MTCM-4, No.97214	5分	6045	
18	57	2.10.9:57	3.16.13:15	2.10.10:00	3.16.13:10	MTCM-4, No.96959	5分	9831	
19	57	3.16.13:20	4.11.9:55	3.16.13:20	4.11.9:50	MTCM-4, No.97214	5分	7447	流向データ異常
20	58	4.11.10:00	5.16.10:05	4.11.10:05	5.16.10:00	MTCM-5, No.94213	5分	10080	
21	58	5.16.10:10	6.10.10:00	5.16.10:15	6.10.10:00	MTCM-5, No.94211	5分	7198	
22	58	6.10.10:08	7.8.9:54	6.10.10:10	7.8.9:45	MTCM-4, No.96959	5分	8060	
23	58	7.8.9:58	8.12.9:46	7.8.10:00	8.12.9:45	MTCM-4, No.98883	5分	10078	
24	58	8.12.9:52	9.9.10:14	8.12.9:55	9.9.10:10	MTCM-4, No.97214	5分	8068	
25	58	9.9.10:20	-	9.9.10:25	10.7.13:45	MTCM-4, No.98882	5分	8105	
26	58	7.13:45	11.2.12:50	10.7.13:50	11.2.12:50	MTCM-4, No.96959	5分	7477	
27	58	12.12:58	12.6.13:11	11.2.13:00	11.5.18:05	MTCM-5, No.94211	Cont	12577	スイッチ切替ミス
28	58	6.13:15	1.6.12:45	12.6.13:20	1.6.12:40	MTCM-4, No.97214	5分	8921	
29	58	1.6.12:52	2.14.9:55	1.6.12:55	2.11.20:20	MTCM-4, No.98883	5分	10458	
30	58	2.14.10:00	3.23.13:00	2.16.15:15	3.21.9:45	MTCM-4, No.96959	5分	9727	流速欠
31	58	3.23.13:08	4.18.12:42	3.23.13:10	4.18.12:35	MTCM-4, No.98882	5分	7482	

\*後半塩分値異常あり、\*\*後半流速測得不良

付表1 (つづき) 測 得 状 況 一 覧 (久慈沖)

通算 回数	設置 年度	設置期間 (切離)		測得期間		流速計 型式 番号	測定 間隔	デー タ 数	備 考
		(投入)	(切離)	(始)	(終)				
32	59	4.18.12:48	5.14.12:40	4.18.12:50	5.14.12:40	MTCM-5, No.94211	5分	7487	
33	59	5.14.12:49	6.11.2:55	5.14.13:15	6.9.21:35	MTCM-4, No.98882	5分	7589	6/9-11データ解読不能
34	59	6.11.13:00	7.16.13:15	6.11.13:05	7.16.13:10	MTCM-4, No.97214	5分	10082	ロータ回転異常
35	59	7.16.13:25	8.17.15:34	7.16.13:30	8.17.15:30	MTCM-5, No.94213	5分	9241	
36	59	8.17.15:40	9.13.13:14	8.17.15:45	9.13.13:10	MTCM-4, No.96959	5分	* 7746	*4099 (流速8/31まで)
37	59	9.13.13:19	10.11.12:47	9.13.13:25	10.11.12:40	MTCM-4, No.97214	5分	8056	
38	59	10.11.12:54	11.9.12:40	10.11.13:00	11.9.12:35	MTCM-5, No.94211	5分	8348	
39	59	11.9.12:44	12.10.12:49	11.9.12:50	12.10.12:45	MTCM-4, No.98882	5分	8928	
40	59	12.10.12:54	1.11.12:50	12.10.12:55	1.11.12:45	MTCM-5, No.94211	5分	9215	
41	59	1.11.13:01	2.15.9:51	1.11.13:05	2.15.9:50	MTCM-4, No.97214	5分	10042	ロータ回転異常
42	59	2.15.9:58	3.8.12:58	2.15.10:00	3.8.12:55	MTCM-4, No.96959	5分	6084	
43	59	3.8.13:07	4.15.12:50	3.8.13:10	4.12.21:05	MTCM-5, No.94211	5分	10176	
44	60	4.15.12:54	-	4.15.12:55	5.22.03:25	MTCM-4, No.98883	5分	10543	
45	60	5.13.12:57	6.17.09:58	5.13.13:00	6.17.09:55	MTCM-5, No.94213	5分	10044	
46	60	6.17.10:04	7.11.13:27	6.17.10:05	7.11.13:25	MTCM-5, No.94211	5分	* 6953	* 流速3670まで
47	60	7.11.13:45	8.12.12:41	7.11.13:50	8.12.12:40	MTCM-5, No.94213	5分	9203	
48	60	8.12.12:48	9.9.12:35	8.12.12:50	9.9.12:30	MTCM-5, No.94212	5分	8061	
49	60	9.9.12:40	10.9.13:06	9.9.12:40	10.9.13:05	MTCM-5, No.94213	5分	8646	
50	60	10.9.13:11	-	-	-	MTCM-5, No.93684	5分	-	
51	60	11.11.12:58	12.13.12:32	11.11.13:00	12.13.12:30	MTCM-5, No.94211	5分	* 9211	* 流速3583まで

付表2 測得状況一覽(川尻沖)  
Field observation of bottom layer flow off Kawajiri

通算 回数	設置 年度	設置期間		測得期間		流速計 型式 番号	測定 間隔	データ 数	備考
		(投入)	(切離)	(始)	(終)				
1	58	5.16.11:40	6.10.11:35	5.16.11:50	6.10.11:35	MTCM-5, No.94212	5分	7198	
2	58	6.10.11:42	7.8.11:27	6.10.11:45	7.8.11:20	MTCM-4, No.97214	5分	8060	
3	58	7.8.11:34	8.12.11:23	7.8.11:40	8.12.11:15	MTCM-4, No.98882	5分	10076	
4	58	8.12.11:30	9.9.12:25	8.12.11:35	9.9.12:20	MTCM-4, No.96959	5分	8074	
5	58	9.9.12:35	10.7.11:40	9.9.12:40	10.7.11:35	MTCM-4, No.98883	5分	8052	
6	58	10.7.11:48	11.2.11:17	10.7.11:50	11.2.11:15	MTCM-4, No.97214	5分	7482	
7	58	11.2.11:10	12.6.11:33	11.2.11:35	12.6.11:30	MTCM-4, No.98883	5分	9792	
8	58	12.6.11:40	1.6.11:09	12.6.11:45	1.6.11:05	MTCM-4, No.96959	5分	8921	
9	58	1.6.11:14	2.14.11:28	1.6.11:20	2.11.15:25	MTCM-4, No.98882	5分	10418	
10	58	2.14.11:25	3.23.11:29	2.14.11:35	3.21.15:45	MTCM-4, No.97214	5分	10419	
11	58	3.23.11:35	4.18.11:06	3.23.11:40	4.18.11:00	MTCM-4, No.98883	5分	7481	流向データ異常
12	59	4.18.11:13	5.14.11:13	4.18.11:15	5.14.11:10	MTCM-4, No.97214	5分	7488	
13	59	5.14.11:20	6.11.11:23	5.14.11:25	6.11.11:20	MTCM-4, No.96959	5分	* 8064	* 流速は2823まで
14	59	6.11.11:28	7.16.11:43	6.11.11:40	7.16.11:35	MTCM-4, No.98883	5分	10080	
15	59	7.16.11:50	8.17.13:05	7.16.12:00	8.17.13:00	MTCM-4, No.98882	5分	9229	
16	59	8.17.13:14	9.13.11:09	8.17.13:20	9.13.11:05	MTCM-4, No.98883	5分	7750	
17	59	9.13.11:17	10.11.11:16	9.13.11:25	10.11.11:15	MTCM-4, No.98882	5分	8063	
18	59	10.11.11:25	11.9.11:09	10.11.11:30	11.9.11:05	MTCM-4, No.98883	5分	8348	
19	59	11.9.11:14	12.10.11:15	11.9.11:20	12.10.11:10	MTCM-4, No.97214	5分	8927	ロータ回轉異常
20	59	12.10.11:20	1.11.11:09	12.10.11:25	1.11.11:05	MTCM-4, No.98883	5分	9213	
21	59	1.11.11:19	2.15.11:29	1.11.11:25	2.15.11:25	MTCM-4, No.98882	5分	10081	
22	59	2.15.11:35	3.8.11:09	2.15.11:40	3.8.11:05	MTCM-4, No.98883	5分	6042	
23	59	3.8.11:15	4.15.11:19	3.8.11:20	4.9.19:00	MTCM-4, No.98882	5分	9309	
24	60	4.15.11:23	5.13.11:11	4.15.11:25	5.13.11:05	MTCM-4, No.96959	5分	* 8061	* 流速は1067まで
25	60	5.13.11:14	6.17.11:30	5.13.11:25	6.17.11:25	MTCM-4, No.98882	5分	10081	* 流速は1067まで
26	60	6.17.11:36	7.11.11:20	6.17.11:40	7.11.11:15	MTCM-4, No.97214	5分	6908	0,1215データ接続
27	60	7.11.11:33	8.12.11:06	7.11.11:40	8.12.11:05	MTCM-4, No.98882	5分	9210	
28	60	8.12.11:14	9.9.11:05	8.12.11:20	9.9.11:05	MTCM-4, No.97214	5分	8062	
29	60	9.9.11:10	10.9.11:37	9.9.11:15	10.9.11:35	MTCM-4, No.98882	5分	8645	
30	60	10.9.11:43	11.11.11:15	10.9.11:50	11.11.11:10	MTCM-4, No.97214	5分	9497	低速時データ回轉不調
31	60	11.11.11:20	12.13.11:05	11.11.11:25	12.13.11:00	MTCM-4, No.98882	5分	9212	



付表3 (つづき) 月別流向頻度 (茨城県久慈沖)

年月	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	CALM
59-4	10.83	6.81	2.50	1.39	3.19	3.47	7.50	20.42	22.22	9.86	2.92	1.11	0.83	1.11	0.83	5.00	0.00
59-5	8.88	9.42	3.50	3.36	4.31	2.96	7.27	12.79	16.96	10.77	4.31	2.29	1.88	2.02	3.77	5.52	0.00
59-6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
59-7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
59-8	4.04	2.56	3.10	2.16	2.02	3.91	11.86	13.61	13.07	13.48	9.43	4.72	4.45	2.83	3.50	5.12	0.13
59-9	3.35	1.91	2.87	2.15	7.42	24.88	17.22	6.46	2.63	2.15	1.91	1.91	2.63	6.70	8.85	6.94	0.00
59-10	10.08	10.48	3.90	1.88	2.28	4.84	5.91	7.53	22.72	10.75	3.23	2.28	0.94	1.88	4.44	6.85	0.00
59-11	22.36	11.11	2.78	1.11	0.56	0.97	1.39	2.78	12.64	16.94	5.97	3.33	1.39	1.25	2.64	12.78	0.00
59-12	22.83	7.53	2.69	1.34	1.21	1.08	2.02	4.84	14.92	10.35	3.36	1.34	1.21	0.94	6.05	20.30	0.00
60-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
60-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
60-3	16.80	9.81	2.42	1.08	1.34	0.27	0.94	7.80	26.75	23.52	0.94	0.13	0.13	0.13	0.94	6.99	0.00
60-4	10.50	11.72	4.41	1.52	1.52	1.37	4.26	15.68	17.20	9.44	4.11	2.44	1.37	1.98	3.81	8.68	0.00
60-5	12.23	6.05	3.76	1.88	2.02	1.48	4.97	10.48	13.58	10.35	6.45	2.69	1.88	2.15	5.91	13.84	0.27
60-6	9.14	6.57	3.57	4.00	2.57	1.43	5.00	15.86	16.14	7.71	3.57	2.86	2.29	2.29	7.43	9.57	0.00
60-7	7.20	5.40	6.00	3.20	3.80	1.80	3.80	13.00	12.80	12.00	12.00	3.20	3.20	2.00	7.00	10.00	0.00
60-8	6.85	4.30	2.42	1.88	1.61	1.88	9.27	14.78	16.67	15.86	8.47	3.63	1.08	2.82	3.36	5.11	0.00
60-9	4.17	2.84	1.81	1.39	2.78	3.06	13.61	20.83	14.72	12.64	5.83	5.42	1.25	2.78	1.81	4.17	1.11
60-10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
60-11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

注) 測得率50%以上の月についてのみ記載

付表4 月別流向頻度 (茨城県川尻沖)  
Occurrence frequency distribution of current direction off Kawajiri in a month

年月	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	CALM
58-6	0.14	0.28	0.42	2.78	0.56	1.67	2.64	5.83	24.44	40.56	13.89	3.06	1.53	1.39	0.69	0.14	0.00
58-7	2.02	2.69	2.82	2.02	2.82	3.23	2.82	8.47	23.66	26.21	15.32	3.63	1.61	0.54	0.40	1.75	0.13
58-8	1.08	1.88	1.75	2.42	1.75	2.28	4.84	7.39	21.77	23.52	14.78	6.05	2.69	3.49	1.34	1.61	0.27
58-9	3.19	3.33	2.22	2.22	4.44	6.25	7.50	12.78	16.94	19.31	7.92	5.14	2.22	1.67	1.67	3.19	0.00
58-10	7.53	7.53	5.24	4.70	5.24	7.80	7.12	9.01	11.29	9.54	4.30	2.42	3.49	4.44	4.17	6.18	0.00
58-11	1.25	2.08	0.97	3.89	3.61	6.25	15.97	16.53	15.42	14.31	7.08	3.33	2.50	1.67	1.11	2.78	0.00
58-12	8.20	14.11	8.47	5.51	2.28	2.15	3.76	5.24	6.59	8.06	4.57	4.70	4.30	3.90	6.72	7.12	4.30
59-1	7.39	20.97	14.92	2.55	1.08	1.61	0.54	1.21	4.57	11.42	11.02	4.97	3.90	2.96	4.97	5.65	0.27
59-2	7.48	6.37	3.18	1.75	3.18	1.91	0.64	3.34	7.32	23.57	20.38	3.18	3.66	2.71	3.18	7.64	0.48
59-3	3.23	0.20	1.21	3.02	0.40	1.81	2.22	4.23	24.80	15.32	12.70	8.47	5.24	4.64	3.63	3.23	5.65
59-4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
59-5	3.94	5.19	6.80	5.72	5.01	2.86	3.40	7.69	12.70	16.10	11.99	4.65	2.15	2.33	2.33	5.90	1.25
59-6	0.85	0.43	0.21	0.43	0.21	1.07	2.14	12.82	36.11	33.12	6.20	2.78	1.28	1.07	0.64	0.21	0.43
59-7	0.40	0.54	0.00	0.40	0.27	2.15	3.90	10.62	29.57	41.67	5.11	1.21	0.40	1.21	0.67	1.34	0.54
59-8	1.34	0.94	0.81	2.42	1.61	1.88	4.70	8.87	19.09	35.75	12.23	4.84	2.28	1.48	1.08	0.94	0.13
59-9	1.67	1.81	1.81	3.06	4.17	5.00	9.86	9.86	11.53	13.06	13.89	8.75	5.28	3.89	4.03	2.36	0.00
59-10	5.11	3.49	2.28	3.09	6.05	7.66	8.60	12.50	9.14	11.29	6.85	6.99	2.82	4.30	5.11	4.70	0.00
59-11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
59-12	16.86	29.46	12.02	5.81	1.36	2.13	2.13	1.74	4.07	6.01	1.36	2.91	2.33	3.88	2.71	5.04	0.19
60-1	25.40	45.03	16.94	1.88	0.94	0.54	0.40	0.13	0.00	0.27	0.27	0.27	0.13	1.34	1.48	4.70	0.27
60-2	14.43	17.26	6.85	1.93	2.23	1.64	3.12	8.04	14.43	18.90	2.53	1.34	1.19	1.34	1.49	2.53	0.74
60-3	10.22	10.35	7.80	2.02	0.94	2.15	2.02	2.96	14.78	13.31	7.53	4.03	1.34	1.75	2.28	3.09	13.44
60-4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
60-5	0.00	0.00	0.00	0.23	0.00	0.45	0.23	1.80	36.71	41.89	13.74	0.23	0.23	0.45	0.00	1.80	2.25
60-6	0.69	1.25	1.94	2.64	1.67	3.19	2.08	8.89	25.83	25.97	13.61	4.72	2.50	1.81	1.53	0.97	0.69
60-7	8.47	10.88	4.97	4.44	2.15	1.34	2.69	7.93	19.22	19.62	7.80	3.90	2.02	0.40	0.94	2.15	1.08
60-8	2.55	2.02	1.34	2.69	2.28	0.94	5.51	7.80	19.35	23.92	10.08	8.06	2.69	3.36	1.88	2.15	3.36
60-9	11.11	5.97	4.58	3.33	3.33	2.92	5.97	9.31	12.36	10.97	3.89	3.61	3.33	4.17	5.97	8.89	0.28
60-10	3.90	2.96	1.75	1.21	1.21	1.75	5.91	6.99	5.91	5.11	2.15	4.30	3.23	1.75	2.82	2.28	46.37
60-11	1.53	1.94	2.36	3.47	2.50	2.92	5.69	16.11	17.08	6.67	3.89	2.78	1.53	2.50	3.47	3.33	22.22

注) 測得率50%以上の月についてのみ記載

付表5 月別流速最大・平均・標準偏差  
Maximum, average and standard deviation of current velocity in a month

月	久慈 - 56年度			久慈 - 57年度			久慈 - 58年度			久慈 - 59年度			久慈 - 60年度			川尻 - 58年度			川尻 - 59年度			川尻 - 60年度		
	最大	平均	$\sigma$	最大	平均	$\sigma$	最大	平均	$\sigma$	最大	平均	$\sigma$	最大	平均	$\sigma$	最大	平均	$\sigma$	最大	平均	$\sigma$	最大	平均	$\sigma$
4	-	-	-	-	-	-	18.0	6.0	3.2	32.8	9.0	5.7	36.2	7.6	4.6	-	-	-	-	-	-	14.0	-	-
5	-	-	-	25.3	6.5	3.7	25.3	6.5	3.7	21.1	6.9	3.9	33.0	6.7	4.5	-	-	-	23.3	6.3	3.5	28.7	8.4	6.0
6	22.3	6.4	2.8	32.5	7.1	4.7	20.9	7.2	3.2	13.0	-	-	36.9	7.9	4.3	21.8	8.1	3.7	18.5	6.6	3.7	15.7	5.4	3.2
7	17.8	7.6	2.7	19.5	-	-	16.6	5.5	3.3	22.5	-	-	21.1	7.3	2.9	25.0	8.6	4.6	23.5	9.0	5.0	32.3	9.1	6.1
8	33.5	9.4	4.3	25.5	6.4	3.9	26.1	5.7	3.5	33.9	8.2	5.0	19.1	6.7	2.8	24.8	8.9	5.2	33.8	7.8	4.8	22.5	5.5	4.4
9	24.8	9.6	3.5	30.3	-	-	21.3	7.0	3.7	38.0	11.3	5.5	39.7	9.8	6.1	49.1	11.9	8.3	43.9	11.1	7.4	18.4	5.0	3.5
10	20.0	-	-	46.1	11.1	7.3	18.1	6.9	2.8	33.1	10.9	5.4	19.3	-	-	42.7	9.6	7.0	52.9	13.1	8.6	29.3	3.8	5.2
11	16.3	4.7	2.1	24.4	6.3	3.1	7.9	-	-	24.5	6.2	3.1	10.5	-	-	41.4	10.7	8.0	31.2	-	-	35.6	7.5	7.2
12	18.8	-	-	19.7	6.2	3.3	17.4	6.7	3.5	27.9	8.0	4.8	-	-	-	20.2	6.0	5.2	28.3	10.6	6.6	-	-	-
1	16.7	7.4	2.8	19.2	6.0	2.9	26.5	7.6	4.0	26.5	-	-	-	-	-	23.7	7.6	5.0	32.6	11.9	6.1	-	-	-
2	18.4	-	-	37.2	7.5	6.6	29.1	-	-	24.3	-	-	-	-	-	21.8	5.1	3.7	36.9	7.8	5.7	-	-	-
3	-	-	-	25.0	7.9	5.3	18.0	-	-	24.6	9.1	4.0	-	-	-	10.8	2.9	2.0	21.7	3.5	4.0	-	-	-
年	33.5	7.6	3.6	46.1	7.3	5.1	29.1	6.5	3.5	38.0	8.3	4.8	39.7	7.5	4.5	49.1	8.3	6.2	52.9	8.9	6.6	35.6	6.2	5.4

注)  $\sigma$ は標準偏差。月別の平均と $\sigma$ は測得率50%以上の月についてのみ記載。

## On the Characteristics of Bottom Layer Flow off Ibaraki Prefecture in Japan

By

Tomoyuki TAKEUCHI

### Summary

There are a number of unclarified points regarding the characteristics of sub-surface flow in coastal areas. However, design velocity, namely estimated maximum velocity, must be given when designing sub-surface structures such as artificial reefs at the bottom and floating fish aggregators moored in the middle layer.

Therefore the author carried out long-term observations on the bottom layer flow since 1981 and tried to make clear its characteristics.

Field data were obtained for a period of four years and a half off Kuji and two years and a half off Kawajiri in Ibaraki prefecture in Japan. The depth of those were 40 m and 130 m. Current meter was placed 2 m above the bottom with sub-surface buoy system. The sampling interval was five minutes, and the instrument was recovered and newly set up every month.

With the data of those long-term observations, the characteristics of the bottom layer flow in the coastal areas are discussed and a semi-empirical method proposed by Nakamura estimating the design velocity for submarine structures is examined.

The results are as follows :

- (1) The data acquisition ratio was as good as 80~90%.
- (2) The main flow direction was south or north along a contour line, and the south direction was most prominent. In Kawajiri data, the flow direction is almost steady in each season, but Kuji data shows more irregular variations. Off Kawajiri, strong offshore current, so called "Dashishio", occurs frequently in summer and autumn, but it does not occur so often off Kuji.
- (3) In hourly averaged data, the maximum velocity was 46 cm/s off Kuji and 53 cm/s off Kawajiri. The average was 7.4 cm/s and 8.0 cm/s, respectively. It flows ceaselessly off Kuji. On the other hand slack flow is often seen off Kawajiri. But occurrence frequency of strong flow off Kawajiri was greater than that of Kuji.
- (4) Most significant peak in power spectrum is at the period of a day caused by tidal current. Period of a few days caused by drift current or others and a half day caused by tidal flow are noted as well. In almost all cases, energy density was decreased with the gradient of  $-5/3$ .
- (5) Off Kuji strong flow was observed when the typhoon or depression was passing. Off Kawajiri, however, it was observed when "Dashishio" occurred, that may be caused by internal tidal waves disturbed by typhoon or depression.

(6) Estimated maximum velocity based on Nakamura's method was greater than the observed velocity except a few cases. About these exceptional cases, there are unique phenomena such as "Dashishio". Considering those phenomena, we can get the estimated values that is greater than that of the observed ones. Therefore, it is suggested that his method is reasonable.