

三陸沖産業廃棄物排出海域における深層海流

堀 定清*・背戸義郎*・倉本茂樹**・陶 正史*

DEEP SEA CURRENT IN THE DUMPING AREA FOR INDUSTRIAL WASTE OFF SANRIKU DISTRICT

Sadakiyo Hori, Yoshio Seto, Shigeki Kuramoto
and Masashi Sue

Received 15 October 1976

Abstract

To examine the magnitude of deep sea current in the dumping areas which is designated for industrial waste by law, a continuous measurement for twelve days was done in one of these areas ($40^{\circ}09'3''$ N, $145^{\circ}21'1''$ E) from July to August 1975.

A rotor-type current meter with magnetic recording was installed, with an acoustic release system, 80 meters above the sea bed where the water depth was 5270 meters.

The obtained current velocities were distributed between 8 and 20 cm/sec and the current directions between 355° and 38° . Simple average of all the data gave mean current of 13.3 cm/sec in velocity and 14.7° in direction.

The north component of mean current is 13 cm/sec and is four times higher than the east component (3 cm/sec).

Variations of the current which have longer periods such as 11.6, 5.8 and 3.9 days were noticed from the Fourier analysis of the data series.

Fairly remarkable changes of tidal period such as 12 and 25 hours were found only for the north component after examination of their self-correlations.

I. はじめに

有害物質を含んだ産業廃棄物の海洋投棄については、海洋汚染および災害の防止に関する法律によって、その排出海域、排出方法が定められている。水路部では、海洋環境の保全および海洋汚染の防止に資するため、産業廃棄物排出海域（A海域）において、油分・PCB・重金属等についての分析調査を実施しているが、昭和49年度より同海域の海底環境の実態把握を目的とした深層海流測定を実施することとなり、50年3月の相模湾での実験を経て、50年7～8月にかけて三陸沖A海域（緯度、 $40^{\circ}-09'3''$ N, 経度、 $145^{\circ}-21'1''$ E, 水深5270m・測流水深5190m）において12日間の深層海流測定を実施したので、その結果について報告する。

II. 目的および調査海域

産業廃棄物排出海域（A海域）は図1に示すように、日本の周辺に5海域が設けられており、同海域には、有害物質（水銀又はその化合物・カドミウム又はその化合物・鉛又はその化合物・有機りん化合物・六価クロム化合物・ヒ素又はその化合物・シアン化合物）を含んだ水底土砂をコンクリート固形化したものが排出されることになっている。このようなコンクリート容器が深海へ投棄された場合、水圧又は海底へ着底の際の衝撃により破壊すると、上記有害物質の漏洩を生じ、水平垂直方向へ拡散し、その結果、汚染物質が食物連鎖を通じ我々人類に直接的、間接的影響を与えることが考えられる。そのような事態に対処するために、5海域の深層海流の流速、流向の資料を早急に整備する必要がある。昭和49年度には相模湾での機器の作動テストを行い、昭和50年度には、海洋汚染調査と併せて、三陸沖A海域での深層海流測定を実施した。深海流速計の設置にあたっては、観測船が現場に到着後、音響測深機による海底地形調査を行い、起伏の少ない平坦な場所を選んだ。

III. 調査に使用した機器

深層海流測定に使用した機器は、浮上用ブイ・船上切離し指令装置・水中音響切離し装置・深海流速計・水浸型フラッシュライト・アンカー・ロープ類でその概略は次のとおりである。

1. 浮上用ブイ（ORE社製，SG16B—8型）

このブイは、中空のガラス球（直径16インチ）をプラスチックカバーで覆い、プラスチック架台にそれを8個取付けたもので、空中重量167kg・浮力154kg・耐圧深度6000m・最大荷重900kgで、架台上部に水浸型フラッシュライト・発信装置等が取付けられる構造となっている。

2. 水浸型フラッシュライト（OAR社製，SF500—100型）

本器は、発光部にキセノンランプを使用し、電源としてアルカリ電池（単2，4本）を使用し、水中では感圧スイッチが働いて、電源を断とし、水面に出た時電源が入り、1秒1閃の割合で発光する。光の到達距離は6～10マイル・発光時間は100時間・耐圧深度は7000mで、浮上用ブイに取付けて使用する。

3. 船上切離し指令装置（AMF社製，200型）

船上より指令音波を水中音響切離し装置へ送る装置で、出力増幅部・コーダー・レシーバー・送受波器から構成されており、発射される指令音波には、水中切離し装置の応答ピンガー（後述）を作動させるものと、発火装置に点火・切離しを実行させる2種類があり、これを1組とし、10組の音波を出すことが出来、複数の水中音響切離し装置を個別に作動させることが出来る。

4. 水中音響切離し装置（AMF社製，242型）

本器は、船上切離し指令装置からの指令音波により、設置場所を知らせるための応答ピンガー・あらかじめセットした時間が来ると発火装置に点火させるタイマー・発火装置・送受波器から構成されている。船上装置からの指令2の音波で応答ピンガーが作動し、1秒1回の割合で1分間発信する。その発信音を船上装置で捉えた後、指令3の音波を船上から発射すると、発火装置内の火薬に点火され、アンカーを切離した後、1秒1回の割合で発信を開始、揚収後、電源を断にするまで発信を継続する。また本器は、深海に設置するのを目的としているので、内部の空気中に含まれる水分が、水温の低下によって凝縮、電気回路に付着した結果、短絡等の事故の

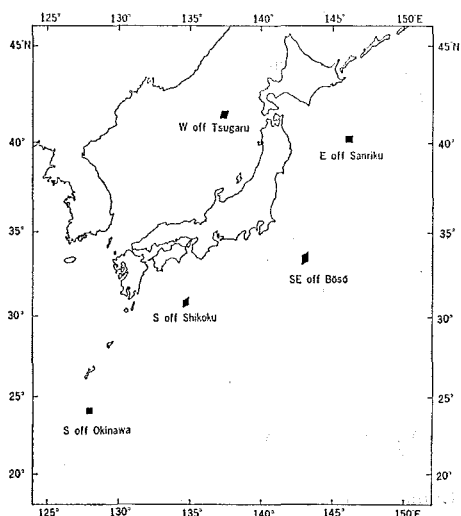


Fig. 1 The Legally Designated Dumping Areas for Industrial Waste Around Japan

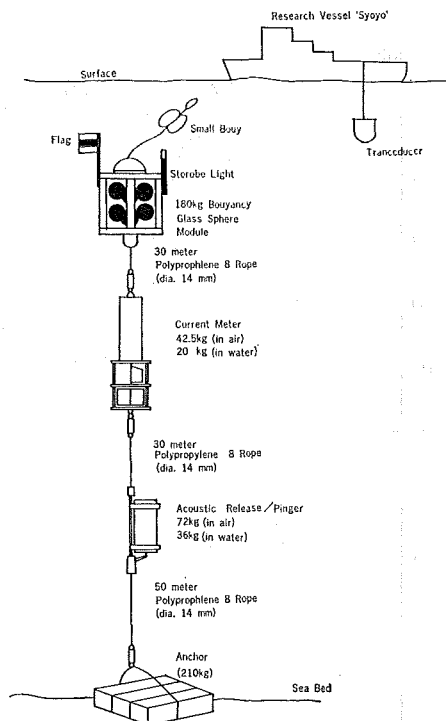


Fig. 2 Typical Arrangement for Current Meter System

生ずるのを防止するため、フロンガスを注入し、内部の空気と置換し、防湿効果をもたらすと同時に、装置のリークテストにも使用出来る。

5. 深海流速計（鶴見精機製，MTCM-3型）

本器は、海中の流向・流速を長期間にわたり、自動的に測定・記録するもので、流向・流速のデータは、すべてデジタル形式で小型カセット式テープレコーダーに記録されるものである。その構成は、サーボニアスローター（流速センサー）・ベーン（流向センサー）が装置の外部にあり、耐圧チャンバー内部は、傾斜角検出器・コンパス偏位角検出器・プリント板部・時計および時間計数器・データレコーダー・ベーン偏位角検出器から成り立っている。性能としては、流速 0.05~4ノット・流向 0~360度・傾斜角 0~35度・測定期間は、連続測定の場合、約50時間・5分毎の測定の場合、約1か月・15分毎の測定の場合、約3か月・30分毎の測定の場合、約6か月・1時間毎では、約1年間のデータを取ることが出来る。

6. ロープ

今回、深海流速計の係留に使用したロープは、ポリプロピレン製エイトロープ（直径14mm）を使用した。係留にロープを使用することについては、荷重をロープにかけた場合に生ずるロープの伸びのため、測定器の正確な設置深度が不明になることが指摘されている（高野，1972）。この問題については、今後解決して行きたい。

7. アンカー

今回使用したアンカーは、一般に使用されるものではなく、レール（60kg/m）を、1mに切断したものを3本とチェーン（30kg）を使用した。

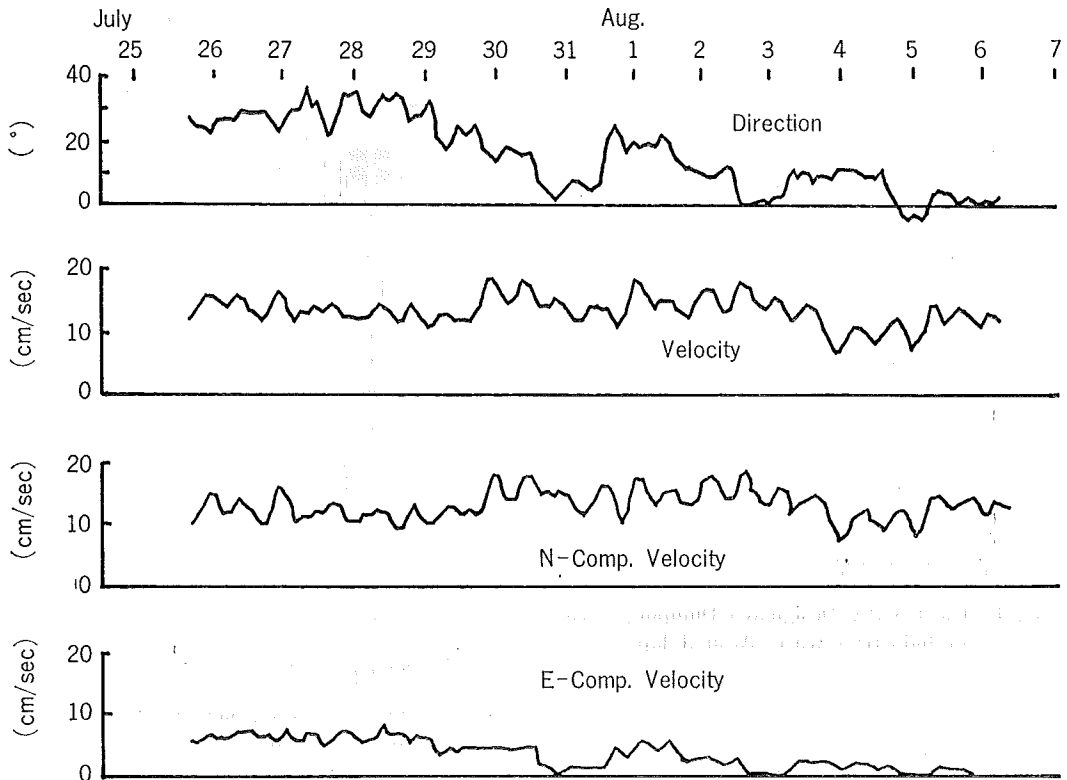


Fig. 3 Observed Current (from top, Direction, Velocity, North and East Component).

IV. 設置方法および揚収

深海流速計の設置方法については、種々の報告 (Berteaux 1973, Morey 1973, Walden 1973, 五十嵐 1976, 今脇 1976) があるが、我々は、図2に示した設置方法をとった。また、観測船からの投入については、デリックの位置等を考慮した結果、アンカーより逐次投入する方法をとり、浮上用ブイが、水面まで降りたところで、つり下げ用ロープを切断し、投入作業を終了、以後、応答ピンガーの音の強弱と、NNSS・ロランCにより、流速計の海底設置場所を確認し現場を離れた。約12日経過後、NNSS とロランCにより、設置場所へもどり、水中音響切離し装置の応答ピンガーを作動させ、その発信音の最強となる地点で切離しを行わせ、システムの浮上を開始した。システムの上昇速度は、あらかじめ次式で計算し、毎秒1.8mであることを、相模湾での実験で確認、今回は浮上まで約50分を要し、応答ピンガーの発信音をレシーバーでモニターしながら現場で待機した。海面への浮上は、予定時刻どおりに行われ、浮上用ブイより逐次揚収した。

$$m \frac{dv}{dt} = -F \cdot g + C \frac{\rho v^2 A}{Z}$$

g ; 重力の加速度, v ; 上昇速度, ρ ; 流体の比重量, F ; 浮力, C ; 抗力係数, m ; システムの質量, A ; 基準面積

Table 1 Results of Fourier Expansion

No.	Period		N-Comp.		E-Comp.	
	Hour	Day	Amplitude	Phase Ang.	Amplitude	Phase Ang.
1	h 278.5	d 11.60	cm/s 1.45	190.3	cm/s 2.38	° 87.6
2	139.3	5.80	1.15	38.8	1.52	99.8
3	92.8	3.87	1.25	31.9	0.13	136.1
4	69.6	2.90	0.96	247.8	1.17	93.6
5	55.7	2.32	0.29	329.2	0.48	358.8
6	46.4	1.93	0.65	131.8	0.70	122.1
7	39.8	1.66	0.30	277.9	0.15	247.7
8	34.8	1.45	0.30	111.7	0.47	92.7
9	30.9	1.29	0.12	192.7	0.16	158.8
10	27.9	1.16	0.38	161.6	0.32	133.6
11	25.3	1.06	0.55	67.6	0.33	91.0
12	23.2	0.97	0.06	112.9	0.22	12.7
13	21.4	0.89	0.20	2.3	0.04	213.7
14	19.8	0.83	0.25	239.0	0.15	12.6
15	18.6	0.77	0.59	183.8	0.21	32.9
16	17.4	0.73	0.42	335.7	0.14	121.9
17	16.4	0.68	0.17	287.0	0.23	24.8
18	15.5	0.65	0.24	319.7	0.29	142.0
19	14.7	0.61	0.42	112.5	0.07	179.3
20	13.9	0.58	0.65	115.9	0.11	59.4
21	13.3	0.55	0.34	109.2	0.20	35.5
22	12.7	0.53	1.04	357.8	0.32	115.9
23	12.1	0.51	0.96	216.6	0.29	173.2
24	11.6	0.48	0.24	267.3	0.01	313.9
25	11.1	0.46	0.49	261.2	0.06	300.2
26	10.7	0.45	0.38	255.3	0.21	79.8
27	10.3	0.43	0.13	206.4	0.22	1.2
28	9.9	0.41	0.14	128.0	0.10	168.7
29	9.6	0.40	0.29	0.8	0.14	53.0
30	9.3	0.39	0.44	122.5	0.14	202.8
31	9.0	0.37	0.16	197.2	0.09	20.6
32	8.7	0.36	0.23	264.4	0.06	152.0
33	8.4	0.35	0.09	299.6	0.18	50.0
34	8.2	0.34	0.09	192.1	0.05	75.9
35	8.0	0.33	0.09	10.2	0.08	87.9
36	7.7	0.32	0.02	139.3	0.03	40.5
37	7.5	0.31	0.04	24.9	0.03	90.9
38	7.3	0.31	0.14	134.0	0.07	137.9
39	7.1	0.30	0.14	98.7	0.05	89.6
40	7.0	0.29	0.02	35.3	0.06	225.0
41	6.8	0.28	0.06	274.5	0.07	60.1
42	6.6	0.28	0.14	179.1	0.05	326.7
43	6.5	0.27	0.07	26.6	0.09	24.9
44	6.3	0.26	0.13	297.4	0.11	112.1
45	6.2	0.26	0.09	84.8	0.09	70.0
46	6.1	0.25	0.03	219.7	0.04	253.0
Average			12.646cm/s		3.310cm/s	

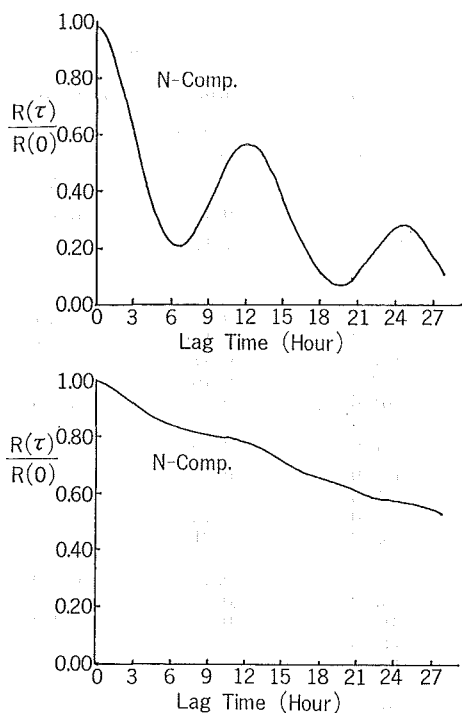


Fig. 4 Auto-Correlation of North and East Component

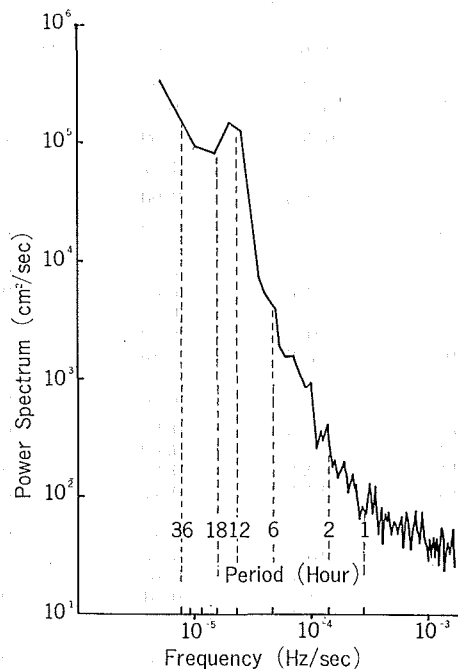


Fig. 5 Power Spectrum of North Component

Table 2 Results of Tidal Harmonic Analysis.

Component	Velocity Lag Angle	M ₂	S ₂	K ₂	K ₁	O ₁	P ₁	M ₄	MS ₄	Constant
North Comp.	V (cm/sec)	1.19	0.27	0.07	0.18	0.58	0.06	0.09	0.02	12.65
	K (°)	232.8	50.5	50.5	319.5	13.5	319.5	320.0	203.8	
East Comp.	V (cm/sec)	0.24	0.30	0.08	0.45	0.20	0.15	0.05	0.12	3.13
	K (°)	318.2	355.7	355.7	16.2	10.3	16.2	344.1	149.1	
Main Dir. (205.3°)	V (cm/sec)	1.99	0.33	0.09	0.31	0.61	0.10	0.11	0.07	
	K (°)	58.3	212.3	212.3	170.6	190.3	170.6	142.9	345.2	

V. 測定結果および考察

深海流速の測定は、昭和50年7月25日17時15分から昭和50年8月6日07時35分までの278.5時間にわたって、5分間毎に行った。カセットテープの記録を解析装置にかけ、流向・流速、北方および東方成分をデジタル化した結果を図3に示した。流向は355度から38度の間で変化しており、7月30日から急に変わっているのが注目される。流速は毎秒20cmから8cm位で変化している。流向がほとんど、北向きであるため、図中の北方成分が東方成分に比較して大きくなっている。なお測定期間中流速計は垂直に保たれていた。

全期間の観測データの個数（1回の測定で20回のデータサンプリングを行った平均値を1個とする）は、3341

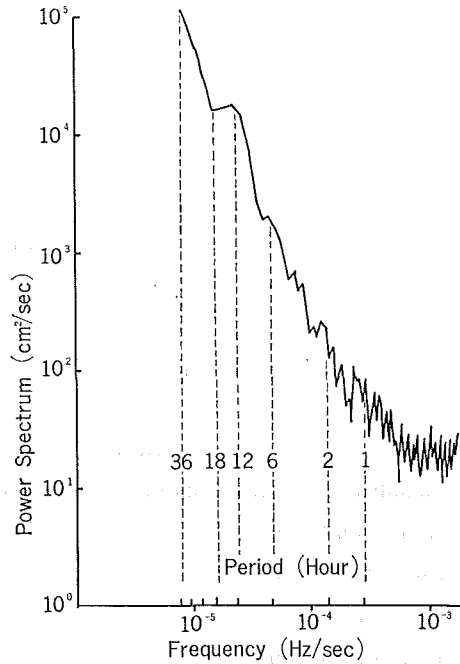


Fig. 6 Power Spectrum of East Component

個であるが、この個数全体を1周期として、フーリエ級数に展開し、その結果の一部を表1に示した。北方分速の平均流速は、毎秒13cm、東方分速は3cmで、これをベクトル合成した平均流向は14.7度・平均流速は13.3cmであった。表値の初めの数項についてみると、11.6日・5.8日・3.9日と、1日より長い周期のものがあることが推察される。これらの流速は、毎秒1cm程度であった。1日より短い周期のものについては、北方分速では、毎秒0.6cm、半日周期のものが、毎秒2cm程度の値が算出された。

また、測定地点の北緯40度付近では、もし慣性流があるとするならば、その周期は

$$T=2\pi/f \quad f=2\omega \sin \varphi \quad \omega: \text{角速度}, \varphi: \text{緯度}$$

で表わされ、18.6時間となるが、北方分速については1日周期と同程度の毎秒0.6cmが算出された。東方分速について、慣性流がこれと同程度に算出されない理由については不明である。これらの結果から、この付近の周期成分はそれ程顕著でなく、北方への恒流ともいふべき、深海としては比較的大きな流れがあることが分かる。次に各成分について、334個までの自己相関係数をとった結果を図4に示す。図の上が北方成分・下が東方成分のものである。これによっても、北方分速で、12時間・25時間のところに、割合ははっきりしたピークが認められ、半日・1日周期のものがあることが判る。東方成分については、表1からも分かるがはっきりした周期性が認められない。自己相関係数からパワースペクトラムを算出し、その結果を図5・6に示した。北方分速では、12時間周期のものが、 $2 \times 10^5 \text{ cm}^2/\text{sec}$ ・東方成分では、 $2 \times 10^4 \text{ cm}^2/\text{sec}$ 程度である。これらの図からも先に述べた長周期変動があることが分かる。パワースペクトラムは、これらの長周期成分・恒流成分を除いて求めるべきであろう。一方、記録をスムージングして、毎日の月の上経過時から1時間2分毎のデータを読み取り、11日間の記録を用いて、数昼夜の調和分解を行なった結果を表2に示す。周期成分が極めて小さいので、はっきりしたことは言え

ないが、 M_2 および K_1 分潮の遅角は、これまで言われている（小倉 1934）この付近でのそれぞれ2時間・10時間とほぼ合致している。

VI. あとがき

深層海流の観測およびシステムの係留等について、未だ確立されておらず、今後の経験をふまえた上で方法の確立をはかって行きたい。また、今回の三陸沖の観測結果をみても、深層海流の長周期成分の十分な把握、拡散係数の見積りなど究明すべき問題は多く残っている。更に観測計画がもたれている他のA海域の結果と併せて検討を加えて行きたい、この報告を書くにあたって、観測に際し御協力頂いた「昭洋」乗組員の方々、計算にあたって、多大の御助力を頂いた海象課桑木野調査官に深く感謝する。

参 考 文 献

小倉伸吉 (1934), 潮汐学

高野健三・今脇資郎 (1972) うみ, 日仏海洋学会誌, No. 4, 178 pp. Nov.

H. O. Berteaux and R. H. Heinmiller, JR (1973) Collected Reprint, wood Hole Oceanogr. Part 1.

R. G. Walden and N. N. Panicker (1973) *ibid*, part 2.

R. L. Morey and H. O. Berteaux (1973) *ibid*, part 2.

五十嵐 宏 (1976) 海洋科学 Vol. 8 pp. 266~272.

今脇資郎 (1976) 海洋科学, Vol. 8. pp. 340~350.