

海水の沈降電圧測定*

平川 廣 満**・武石 泰 亮**

Measurement of sedimentation potential of sea water*

Hiromitsu HIRAKAWA** and Taisuke TAKEISHI**

Abstract: Sea water samples were collected at regions southwest of Kyushu and around Taiwan for investigating the sedimentation potential. It was generated by a sedimentation-potential-generating apparatus and measured by a.c.-potentiometric method in laboratory. Irrespectively of the sampling depth, it ranges from -0.19×10^{-6} to -0.21×10^{-6} (V), except surface samples which show considerably smaller values. A sedimentation coefficient calculated from the experimental result is within the range of -1.70×10^{-12} to -2.10×10^{-12} [(V/cm)/(cm/sec²)].

1. 緒 言

電解質溶液を加速度場におくと溶液中に微小電圧（以降これを沈降電圧とよぶ）が発生することは COLLY (1875) により予見され、重力場での沈降電圧が初めて検出された。その後発生沈降電圧を大きくして正確に測定するさまざまな試みがなされてきた（たとえば、COUDRESS, 1896; TOLLMAN, 1910; DEBY, 1933 など）。一価二元や二価三元の電解質溶液およびいくつかの混合電解質溶液についての沈降電圧は著者らの論文（平川・武石, 1983）を含め R. ZANA and E. YEAGER (1967) および Z. MIDUNO (1971) らによって報告されているが、海水の沈降電圧を検出し報告したものはみあたらない。これは海水の沈降電圧がきわめて小さく、これを検出するにはかなりの困難を伴っていたからである。

しかし海水の沈降電圧はすべての混合電解質溶液の基準となるもので発生電圧はいくらになるか、また海水の沈降電圧は海水中の主成分とどのような関係があるかなどを知ることにはかなり興味のあることであり有意義であると考える。

この度文部省特定研究の一環として南西諸島海域から台湾島周辺までの海洋調査に参加し、これらの海域で海

水を採水するとともに採水地点での深度と水温および塩分を測定した。採水した海水は持ち帰りの後、研究室において沈降電圧を測定した。その結果正確で信頼できる測定値が得られたので報告する。

2. 調査方法

調査は鹿児島大学水産学部所属の研究練習船 散天丸（約 880 トン）により南西諸島海域から台湾島周辺まで 32 地点の観測点を設定し、99 種の海水を採取した。観測

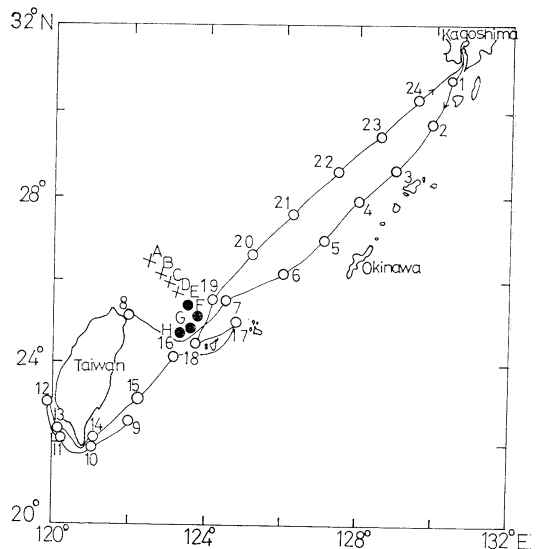


Fig. 1. Station map.

* 1985年2月25日受理 Received February 25, 1985

** 鹿児島大学工学部

〒890 鹿児島市郡元 1-21-40

Faculty of Engineering, Kagoshima University,
1-21-40, Korimoto, Kagoshima 890

期間は1984年7月25日～8月26日までの1カ月間である。観測点を第1図に示す。観測点1～24では表層水を、観測点A～Dでは表層から水深90m、観測点E～Hでは表層から水深1,000mまでそれぞれ敬天丸に装備されているCTD記録計(Neil Brown Instrument System社製のMark III system)により深度と水温および塩分を連続的に測定した。それらの値は10秒間隔で読みとられ印字機により打ち出された。同時に海水の沈降電圧を測定するため水深10m～水深1,000mまではバンドーン採水器を用いて採水した。表層水はバケツにより採取した。

3. 沈降電圧発生装置

海水の沈降電圧を発生させる沈降電圧発生装置を第2図に示す。同図で、測定容器6(内径11mm、長さ50mm、厚み2mmの円筒状アクリルパイプ)に採取した海水を満し、動電型加振器3(加振力10kg重)を用い振動周波数100Hz、振動振幅1.5mm(p-p)で上下に振動させると海水中に微小な正弦波交流(周波数100Hz)の沈降電圧が発生する。この沈降電圧をアクリルパイプ内に設けた白金電極(間隔35mm)8により検出

し、同軸ケーブル9により入力変成器に導く。変成器の出力は検出増幅器(Lock-in Amplifier NF社製LI-574)に接続している。

沈降電圧を測定する測定装置の構成は交流電位差計法を採用した(たとえば平川, 1984)。

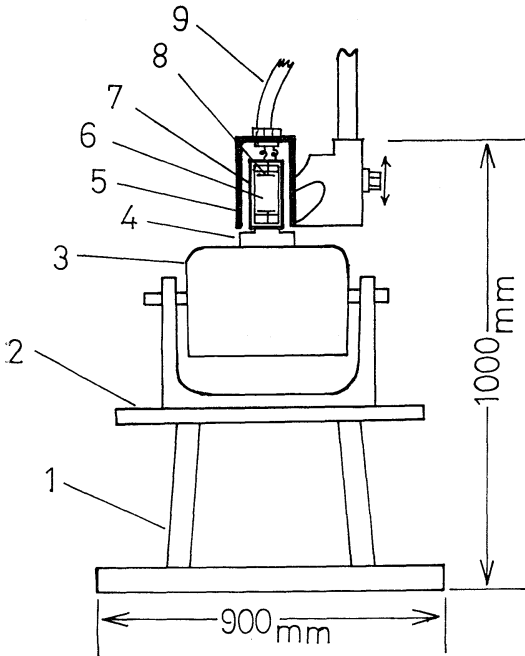
4. 測定結果と考察

前節で述べた各観測点での深度と水温、塩分の測定結果および沈降電圧発生装置により発生させた海水の沈降電圧の測定値を合せて第1表～第3表に示している。第1表～第3表のうち、海水の沈降電圧に限って考察を進めるため各観測点での海水の沈降電圧を第3図～第5図に示す。

第3図は観測点1～24での表層水の沈降電圧を、第4図は観測点A～Dでの水深10m～水深90mの海水の沈降電圧を、第5図は観測点E～Hでの水深10m～水深1000mの海水の沈降電圧をそれぞれ示している。第3図より、海水の沈降電圧はほとんど $-0.18 \sim -0.22$ (μV)の範囲内にあり、その値はほぼ $-0.19 \sim -0.21$ (μV)の間に集中していることがわかる。第4図、第5図に示す海水の沈降電圧でもその傾向はかわらず、深度

Table 1. Temperature, salinity and sedimentation potential (S.P.) of surface water at stations 1 to 24. July 26-August 26, 1984.

Station	Latitude	Longitude	Temp. ($^{\circ}\text{C}$)	Salinity (‰)	S.P. (μV)
1	30°46'32"N	130°29'62"E	26.8	34.25	-0.10
2	29°37'25"N	129°55'82"E	30.0	34.23	-0.09
3	38°39'15"N	129°00'28"E	30.4	34.30	-0.19
4	27°55'64"N	128°03'72"E	30.0	34.30	-0.20
5	27°02'00"N	127°10'00"E	30.6	34.37	-0.21
6	26°12'83"N	126°06'48"E	30.2	34.35	-0.19
7	25°33'04"N	124°55'11"E	30.0	34.47	-0.20
8	25°13'61"N	124°02'53"E	29.0	34.39	-0.21
9	22°36'54"N	122°09'06"E	29.2	34.47	-0.18
10	21°58'17"N	121°11'14"E	29.8	34.37	-0.21
11	22°08'87"N	120°22'18"E	28.4	34.45	-0.21
12	23°01'21"N	119°56'30"E	30.0	34.40	-0.19
13	22°21'05"N	120°17'66"E	31.0	34.48	-0.16
14	22°06'80"N	121°11'99"E	29.6	34.53	-0.21
15	23°07'31"N	122°21'78"E	29.0	34.49	-0.20
16	24°09'27"N	123°14'78"E	28.2	34.50	-0.19
17	24°59'05"N	124°50'04"E	29.0	34.61	-0.20
18	24°28'56"N	123°43'08"E	30.0	34.45	-0.20
19	25°38'40"N	124°14'46"E	29.8	34.39	-0.19
20	26°37'51"N	125°15'11"E	27.4	34.40	-0.19
21	27°34'84"N	126°17'17"E	29.0	34.35	-0.09
22	28°34'03"N	127°25'56"E	29.4	34.50	-0.20
23	29°26'17"N	128°32'20"E	28.0	34.39	-0.20
24	30°17'83"N	129°35'75"E	28.4	34.45	-0.19



1: Iron angle, 2: sheet copper, 3: vibrator, 4: ebonite insulator, 5: fixed shield, 6: measurement cell, 7: moving shield, 8: platinum electrode, 9: coaxial connector.

Fig. 2. Apparatus for generating sedimentation potential.

による沈降電圧の変化もみられない。このように海水の沈降電圧の値に変化がみられないことを確認するため、表層から水深 1000 m まで 99 種の海水の塩素量をモールの銀滴定法により測定した。この結果、表層水の観測点 No. 1, No. 2 および No. 21 をのぞいた各観測点での塩素量は 19.111‰~19.317‰ の範囲にありその値に大きな変化はみられなかった。また第 1 表~第 3 表に示す塩分濃度に大きな変化はみられないことから海水の沈降電圧が $-0.19 \sim -0.21 (\mu\text{V})$ の範囲にあることはかなり信頼出来ると思われる。なお日本標準海水 (Cl = 19.37‰, 日本学術会議標準海水委員会検定, 1980) の測定でも上記とほぼ同じ値 ($-0.193 \mu\text{V}$) が得られた。以上の理由により、海水の沈降電圧を $-0.19 \sim -0.21 (\mu\text{V})$ の範囲であるとすれば、この値は著者らが報告 (平川, 武石, 1983) した NaCl 単独の電解質溶液の沈降電圧にほぼ等しい。このことは海水の沈降電圧が海水中の塩分濃度による沈降電圧として定義できることを示している。従来、海水を塩分濃度で代表させることが慣例となっているが、沈降電圧の測定からもこのことが確

認できた。

しかし第 3 図に示す表層水の沈降電圧のうち、観測点 No. 1 と No. 2 および No. 21 での沈降電圧は他の観測点の沈降電圧より $-0.09 \mu\text{V}$ 前後とかなり小さい。この原因を調べるため上記と同様、モールの銀滴定法により塩素量を測定した結果では、No. 1 では 18.63‰, No. 2 では 18.82‰ および No. 21 では 18.73‰ と他の観測点より低い値であることがわかった。第 1 表に示すように、塩分濃度は観測点 No. 1, No. 2 および No. 21 では 34.23‰~34~35‰ と他の観測点とくらべ大きな変化はみられない。このため塩素量の低下が沈降電圧の減少に寄与したわけで、海水の沈降電圧測定が塩分や塩素量の濃度変化を検出するのに有力な手段の一つと考えることができる。次に塩素量が低下すると沈降電圧が小さくなる原因を沈降電圧の理論から推測してみる。

一般に電解質沈液の沈降電圧は陽イオンと陰イオンの原子量と陰イオンの原子量を比較し、陽イオンの原子量

Table 2. Temperature, salinity and sedimentation potential (S.P.) of sea water collected at depths of 0-90 m at stations A to D.

Station	Depth (m)	Temp. (°C)	Salinity (‰)	S.P. (μV)
A 26°31'00"N 122°30'00"E Date 8.04, 1984	0	29.8	34.18	-0.20
	10	28.6	34.10	-0.21
	30	26.4	34.25	-0.19
	50	23.4	34.41	-0.19
	75	19.4	34.67	-0.20
B 26°13'42"N 122°45'42"E Date 8.04, 1984	90	19.4	34.68	-0.19
	0	28.2	34.28	-0.21
	10	27.7	34.30	-0.22
	30	24.9	34.36	-0.20
	50	22.9	34.51	-0.20
C 26°00'00"N 123°00'00"E Date 8.04, 1984	75	20.2	34.73	-0.20
	85	19.5	34.70	-0.22
	0	28.9	34.25	-0.22
	10	28.8	34.26	-0.20
	30	27.1	34.53	-0.20
D 25°46'18"N 123°15'18"E Date 8.04, 1984	50	24.6	34.67	-0.19
	75	20.7	34.71	-0.19
	85	19.6	34.70	-0.19
	0	29.1	34.12	-0.20
	10	28.9	34.18	-0.18
	30	28.2	34.51	-0.19
	50	27.2	34.71	-0.20
	75	25.1	34.70	-0.19
	85	23.9	34.76	-0.18

Table 3. Temperature, salinity and sedimentation potential (S.P.) of sea water collected at depths of 0-1000 m at stations E to H.

Station	Depth (m)	Temp. (°C)	Salinity (‰)	S.P. (μV)	Station	Depth (m)	Temp. (°C)	Salinity (‰)	S.P. (μV)
E	0	30.0	34.24	-0.20	G	0	30.1	34.21	-0.21
25°24'00"N	10	29.8	34.28	-0.19	24°54'30"N	10	30.1	34.21	-0.21
123°36'00"E	30	28.9	34.26	-0.19	123°47'30"E	30	29.5	34.35	-0.22
Date	50	26.6	34.66	-0.21	Date	50	27.4	34.65	-0.19
8.03, 1984	75	24.6	34.70	-0.19	7.28, 1984	75	25.0	34.70	-0.20
	100	22.5	34.86	-0.22		100	22.7	34.77	-0.19
	150	20.1	34.87	-0.21		150	20.1	34.83	-0.19
	200	18.2	34.79	-0.21		200	18.6	34.79	-0.21
	300	15.0	34.62	-0.20		300	15.4	34.65	-0.19
	400	11.2	34.36	-0.21		400	12.0	34.42	-0.21
	500	9.2	34.32	-0.19		500	10.4	34.32	-0.21
	700	6.2	34.39	-0.20		700	6.3	34.37	-0.20
	1000	4.6	34.43	-0.21		1000	4.6	34.43	-0.20
F	0	29.9	34.36	-0.21	H	0	30.5	34.32	-0.19
25°08'18"N	10	29.4	34.38	-0.21	24°40'00"N	10	29.7	34.32	-0.19
123°51'18"E	30	26.7	34.65	-0.22	123°30'00"E	30	27.7	34.53	-0.21
Date	50	25.9	34.74	-0.19	Date	50	25.9	34.74	-0.19
8.03, 1984	75	24.0	34.72	-0.19	7.28, 1984	75	24.3	34.85	-0.21
	100	22.6	34.82	-0.19		100	22.4	34.91	-0.19
	150	19.9	34.88	-0.19		150	20.5	34.90	-0.19
	200	18.6	34.84	-0.19		200	19.2	34.84	-0.22
	300	15.2	34.64	-0.19		300	15.4	34.65	-0.21
	400	13.0	34.49	-0.19		400	13.0	34.94	-0.22
	500	10.8	34.36	-0.20		500	10.7	34.35	-0.20
	700	6.2	34.38	-0.19		700	6.0	34.39	-0.21
	1000	4.6	34.43	-0.20		1000	4.7	34.43	-0.20

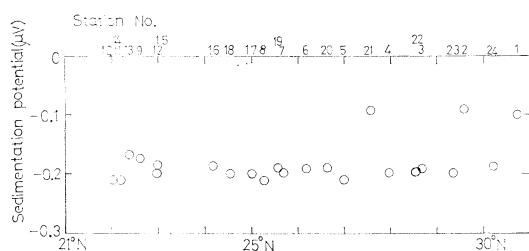


Fig. 3. Sedimentation potential of surface water collected at stations 1 to 24.

が陰イオンの原子量より大きいと正の電圧、逆であれば負の電圧をそれぞれ発生することは著者ら(平川・武石, 1983) がすでに報告している。

海水は海水中の塩分濃度で定義でき、観測点 No. 1, No. 2 および No. 21 をのぞく観測点では塩分濃度と塩素量はそれぞれ 34.18‰~34.91‰, 19.111‰~19.317‰ で、-0.19~-0.21 (μV) の沈降電圧を発生することはすでに述べた。しかし観測点 No. 1, No. 2 および

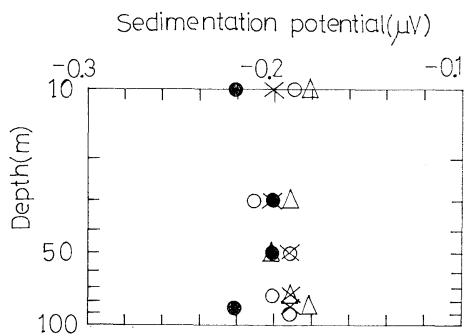


Fig. 4. Sedimentation potential of sea water collected at stations A to D., ○: A, ●: B, ×: C, △: D.

No. 21 では塩分濃度は他の観測点と大差はないが、塩素量が 18.63~18.82‰ とかなり低い。ということは相対的に Na⁺ の量が Cl⁻ の量より増加したと考えることができ、上記で述べた沈降電圧の理論から Cl⁻ 量の減少分だけ沈降電圧が小さくなったと推測できる。しかし観

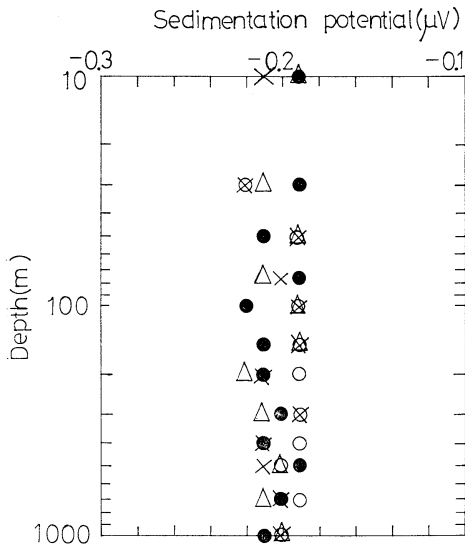


Fig. 5. Sedimentation potential of sea water collected at stations E to H., ●: E, ○: F, ×: G, △: H.

測点 No. 1, No. 2 および No. 21 での海水の試料が少ないこともあり今回結論を出すことはさげたいと思う。これらの観測点での海水を再度採水し、海水の沈降電圧を測定した後結論を出したい。またこの3地点では表層から水深 1000 m までの海水を今回は採取できなかったため、次回の海洋調査では採水を行い、海水の沈降電圧を測定すれば興味ある結果が得られることも考えられる。

以上述べたように海水の沈降電圧は著者らの使用した沈降電圧発生装置では $-0.19 \sim -0.21 (\mu\text{V})$ を発生することを明らかにしたが、沈降電圧発生装置が異なればその値もちがってくる。このため単位長 (cm)・単位加速度 (cm/sec^2) 当りの沈降電圧すなわち沈降係数を求めておいたほうが別な発生装置で測定された沈降電圧と比較ができ都合がよい。それ故海水の沈降係数 E を計算した結果次式が得られた。

$$E = -1.70 \sim -2.10 \times 10^{-12} [(\text{V}/\text{cm})/(\text{cm}/\text{sec}^2)].$$

5. まとめ

1984年7月25日～8月26日まで文部省特定研究費による海洋調査に参加し、南西諸島海域から台湾島周辺の海

水を採水した。採水した海水は沈降電圧発生装置により沈降電圧を発生させ、この電圧を交流電位差計法により測定した。この結果次のことが明らかとなった。

- (1) 海水の沈降電圧は $-0.19 \sim -0.21 (\mu\text{V})$ であること。
- (2) 海水の沈降電圧は海水中の塩分濃度で定義できること。
- (3) 今回採水した海水のうち、3地点の表層水でかなり小さい沈降電圧が観測された。これは塩素量が 18‰ 台とかなり低いことが原因として考えられること。
- (4) 海水の沈降係数は $-1.70 \times 10^{-12} \sim -2.10 \times 10^{-12} [(\text{V}/\text{cm})/(\text{cm}/\text{sec}^2)]$ であること。

謝辞

海水の採取および水温、塩分の測定に対してお世話になった鹿児島大学水産学部敬天丸船長辺見富雄教授および乗組員の方々に感謝の意を表します。また海水の塩素量を測定いただいた鹿児島大学理学部坂元隼雄先生にお礼を申し上げます。なお本研究の一部は文部省特定研究費によった。

文献

- COUDRESS, T. D. (1896): Messungen der elektromotorischen Kraft colly'scher Gravitation Elemente. *Ann. Phys.*, **49**, 284-291.
- DEBY, P. (1933): A method for the determination of the mass of electrolytic ions. *J. Chem. Phys.*, **1**, 13-20.
- 平川廣満 (1984): 1-1 電解質水溶液のイオンの部分モル容積の決定法. *電気化学および工業物理化学*, **52**, 331-335.
- 平川廣満・武石泰亮 (1983): ハロゲン化アルカリ電解質水溶液の沈降電圧の測定. *応用物理*, **52**, 619-625.
- MIDUNO, Z. and SAITA, T. (1971): An oscillating cell method for sedimentation potential measurements. *Ann. Reports of the Res. Group on Biophys. Japan*, **4**, 71-86.
- TOLLMAN, R. C. (1910): The electromotive force produced in solutions by centrifugal. *Proc. Amer. Acad.*, **46**, 109.
- ZANA, R. and YEAGER, E. (1967): Ultrasonic vibration potential and their use in the determination of ionic partial molal volumes. *J. Phys. Chem.*, **71**, 521-536.