

潮海流用微流速計の試作とその基礎的研究を行なったので、これまでの研究の結果をまとめて報告する。また試作した微流速計による若干の観測例をも示す。

1. 海洋や河川における水理現象は複雑であり、現在なお十分解明されていない問題が少なくない。その重要な原因の一つとして流速測定^{1~3)}の困難さをあげることができる。測流についてこれまでにも多くの研究がなされてきたが、微流速の正確な計測は近年になってやっととりあげられ^{4~6)}、深海における中立浮子^{7~10)}、沿岸用流速計など著しい進歩がみられる。^{11~13)}こゝでは従来の測流原理とは別の立場から微流速計の試作研究を行なった。

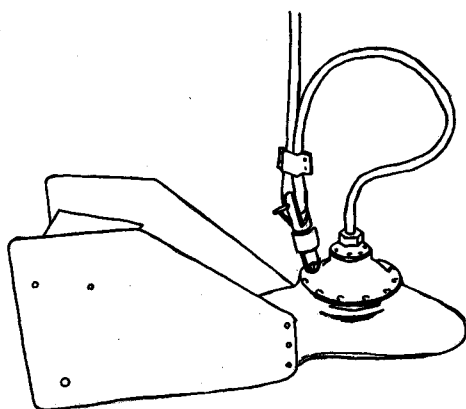


図-1 微流速計 (I 型)

2. 試作した微流速計は図-1のようなもので、羽根の面積を広くした I 型である。その改良型 (N 型) を図-2 に示す。測流原理は両者とも同じで、流れの方向に設置された直円管内の流れを色素様のものと光電的方法とを用いて知ろうとするものである。あらかじめ測定しようとする流れの速度と円管内の流速との関係がわかっていれば、逆に円管内の流速を知ることにより、目的とする流れの速度を知ることができる。このような沿岸

付近の潮海流観測のための微流速計の設計とその吟味を要約して述べる。¹⁴⁾

海上の浮游体や漂流物を追跡することにより海水の運動を知ることができるが、いまそのかわり海中に煙状のものを流しても同様に海水の運動を知ることができる。金属テルリウム塊を負電極として、電導性のある海中にそれを入れると、その表面より微粉末の純テルリウムが黒煙状となつて電析される。この黒煙で前述の円管内の水の運動を光電的方法によって追跡することは可能であると考えられる。ところで、円管内の流速とその外の流速との関係をあらかじめ求めておかななくてはならない。そのため京大防災研の水路を用い、種々の流速に対して、定常流における実験を行なつて得た結果を図-3 に示す。円管の長さおよびその内径をパラメーターとして点描したが、ほぼ一つの曲線であらわ

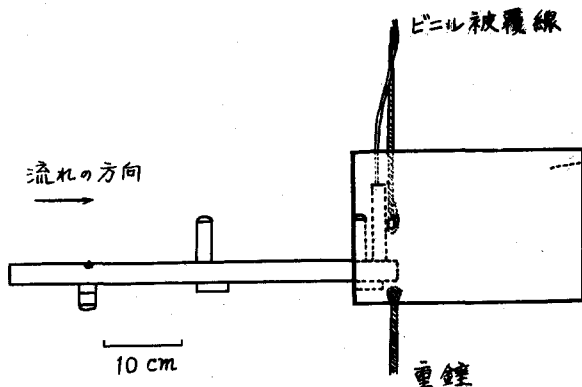


図-2 微流速計 (N 型)

されるように見える。この曲線は円管とその近くの流管について、エネルギーが保存されることを考慮すれば、理論的に

$$\left(\frac{u}{u_1}\right)^2 = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{64 L/d}{Re}\right) \dots\dots\dots (1)$$

という式が導かれる。こゝに u_1 および u はそれぞれ円管内および外の流速、 L および d はそれぞれ円管の長さおよび内径、また $Re = \rho u_1 d / \mu$ 。 適当な円管の内径および長さについて吟味した結果、 $L = 35\text{ cm}$ 、 $d = 20\text{ mm}$ に選んだ。ところで、円管が流れに対して角 θ だけ偏ったとき、円管内の流速がどのようになるかを検討しておく必要がある。水路実験の結果からみて、5%の観測誤差を許容するとすれば、 $\theta \leq \pm 10^\circ$ の精度で円管を流れの方向に一致させればよいことがわかった。

円管を組立てた N 型微流速計では、上述の水路実験の結果をそのまま適用できそうであるが、I R 型では円管に構造物がついているので、その影響を京大地球物理学教室の実験水槽で調べた、その結果は図-4 のようになり、これだけから簡単に影響の有無についての結論は下せないようである。

3. 実際の海で上述の原理にしたがって測流する場合、円管を流れの方向に向けてやるために方向舵を用いる必要がある。こゝで風速計に関する佐貫の係数¹⁵⁾を用いることにする。一様流で初め方向舵が流れに対して θ_0 だけ偏っていて、その後時刻 t において偏角が θ であるとすれば、方向舵の支点のまわりの運動は次式で与えられる。すなわち、

$$I \frac{d^2 \theta}{dt^2} + k \frac{d \theta}{dt} + r^2 \theta = 0, \dots\dots\dots (2)$$

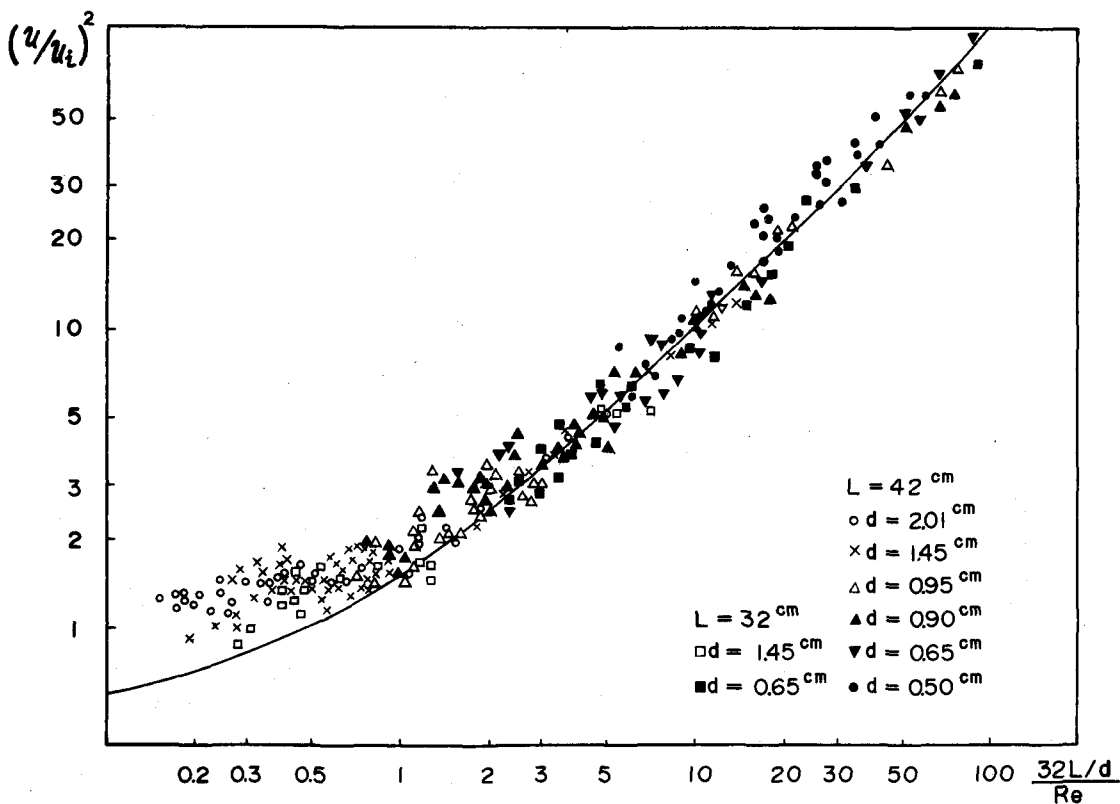


図-3 一様な流れにおける円管内の流速と外の流速の比と、円管の長さおよび内径との関係

ただし、 I は流速計の水中における支点のまわりの慣性性能率、 k および n は定数である。このとき、対数減衰率 $A = \pi k / 2n \sqrt{I}$ および周期 $T = 2\pi \sqrt{I} / n$ をもつ減衰振動が解として与えられる。各種の流速計について、 A や T などを計算し、表-1 に示す。

いま流速が周期的に変動するとして、 $u = u_0(1 + S e^{i(\omega t + \epsilon)})$ を考えると、上に示した微分方程式の解は

$$\theta = \theta_0 \exp \left[-2 \left(A + \sqrt{A^2 - \pi^2} \right) \left(\frac{t}{T} - 1 \frac{\pi}{\omega T} e^{i(\omega t + \epsilon)} \right) \right] \left\{ A \int_0^t \exp 4 \sqrt{A^2 - \pi^2} \left(\frac{t}{T} - 1 \frac{\pi}{\omega T} e^{i(\omega t + \epsilon)} \right) dt + C \right\} \dots (8)$$

ここに A および C は初期条件によって定まる定数である。このように、流れが簡単なふらつきに対して方向舵の応答が非常に複雑である。このような方向舵を用いた場合、計算上一様流のなかでも流速計が流れの方向を指示するのに長時間を要することがある。このような場合に相当すると考えられる観測例として、京都の疎水（夷川）で行なったものを図-5 に示す。

表-1 流速計の特性定数

流速計	A	$T \cdot u \left[\frac{\text{sec} \cdot \text{cm}}{\text{sec}} \right]$	$(T/2A) u \left[\frac{\text{sec} \cdot \text{cm}}{\text{sec}} \right]$	$\frac{n^2}{u^2} \left[\frac{\text{g} \cdot \text{cm}^4}{\text{rad} \cdot \text{sec}^2} \left(\frac{\text{cm}}{\text{sec}} \right)^2 \right]$
EKMAN	0.835	514	308	978
I-O	0.490	410	418	1340
I-R	0.772	318	206	2240
N	1.77	115	32.5	32.5

4. 流れの向きに方向舵がいかに正しく向いていても、その記録としてよみとられたものが正しくなければ流速の観測記録は意味をなさない。海洋の分野では、従来磁針を用いる方法が広く行なわれており、その方法は浮動観測点では簡便で有用である。こゝでも同様に磁針を準拠とするが、その方位指示の光電的方法の2例を示す。その1は光電池を用いる方法であって（図-6）、他は光電トラ

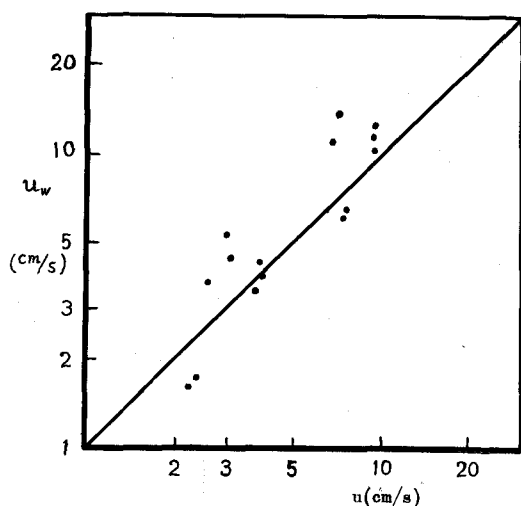


図-4 I-R型磁流速計の

ンジスターを用いる方法である（図-7）。方位指示用磁石には住友金属製のNKS鋼を用いた。^{16,17)}

5. さらに流速計を試作する上で注意すべきことは、海上で電気回路を用いることと海中に測定部をしづめることに付随して生じる電氣的絶縁および水密性の問題である。またテルリウム煙についてもさらに吟味する必要がある。

海水の温度および塩分によってテルリウム煙の析出量が異なるように思われる。換言すれば、電気伝導度の関数とみられる。この煙を円管内に流してやるとき、層流の条件が満たされていても二次流があれば煙はらせん状に運動する。また流れの速さによって円管内の煙の濃度が変わる。これは流速測定においてとくに考慮すべきことと思われる。

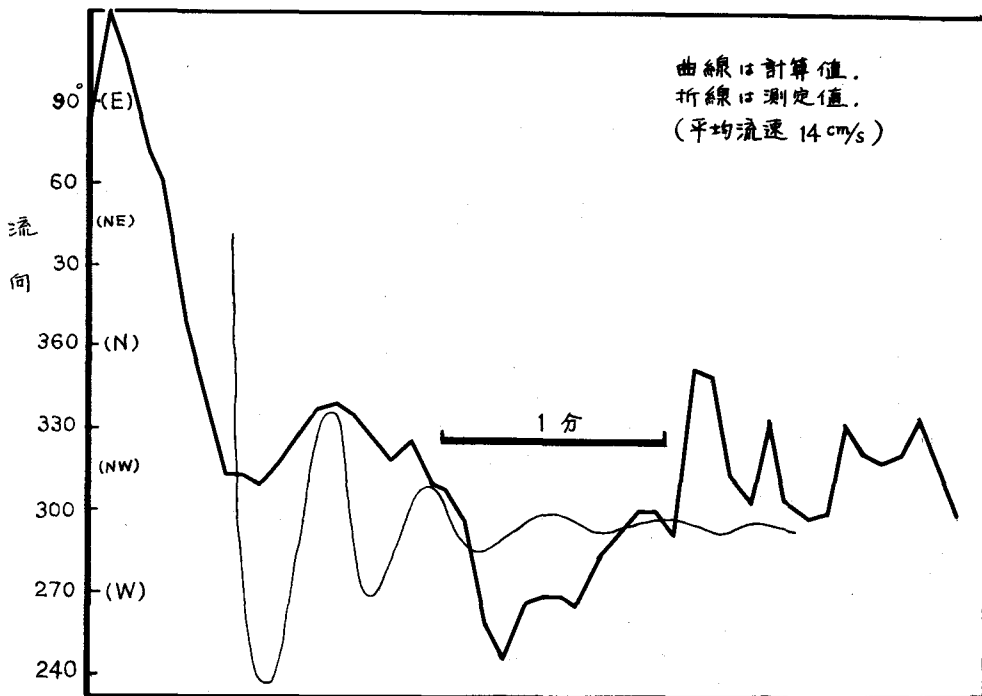


図-5
京都の疎水
(夷川)に
おける流向
変動観測。

る。I R 型流速計でとくにコンセントでの水密性と電氣的絶縁が完全であることがのぞましい。その目的を達するためにグッタベルカや合成ゴムを用いてみた。

流向流速測定のために用いる回路を図-8に示す。測定の際にはまづ円管の流入口の近くに設置されたテルリウム電極から煙を流す。円管壁2点に設置された光電トランジスターにより煙の通過時刻 t_1 および t_2 がそれぞれわかる。2点間の距離 l を通過するに要した時間 $t_2 - t_1 = \Delta t$ から流速として $u_l = l / \Delta t$ を得る。この場合煙の二次的動きによって Δt の精度が左右される。

また流速計に方位の基準として磁石を用いるわけであるから、方位の基準がくるわないようにしなければならない。そのため I R 型流速計について付属物としての鉄分の存在がどれだけ影響するかを実験的に調べた(図-1参照)。磁石と鉄分との相互位置も関係するが、結果からみてこの場合は鉄分の磁針方位への影響は考慮しなくてもよいことがわかった。

6. 以上の考察にもとづいて試作した流速計による測流記録を表2および図-9に示す。表-2

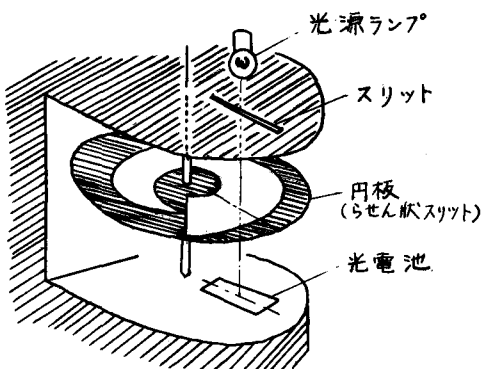


図-6 流向測定装置 I

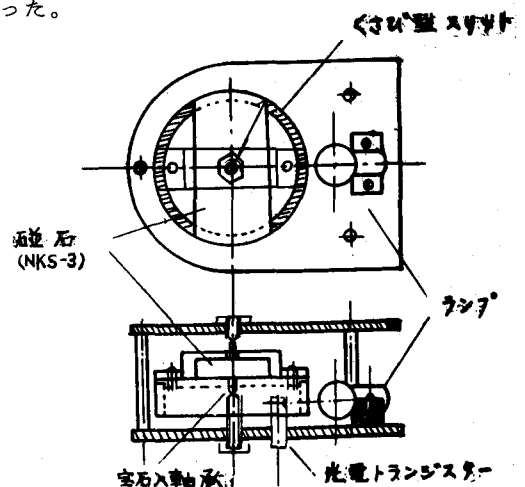


図-7 流向測定装置 II

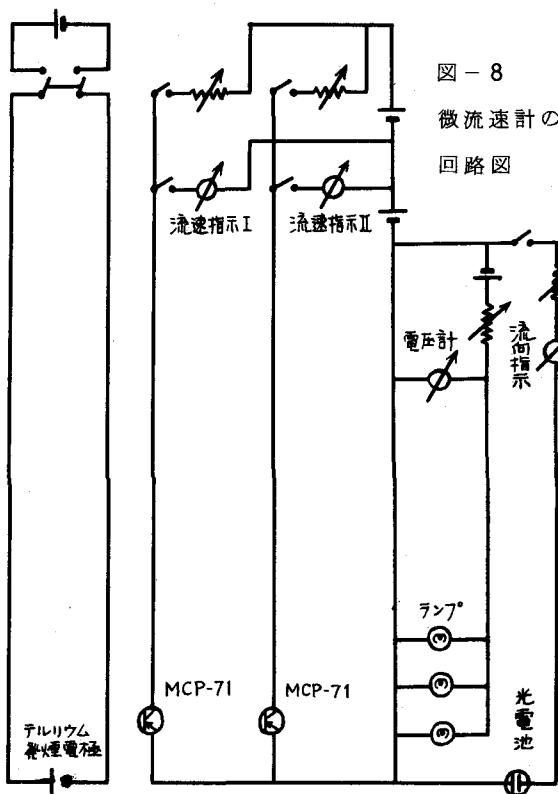


図-8
微流速計の
回路図

上欄は、南紀田辺湾内の古賀ノ浦におけるもので、潮時としては満潮から干潮へ向う時刻の観測である。これから潮流の垂直分布が大体わかる。また表-2下欄は、京大白浜海洋観測塔における記録で、不十分とはいえ、この近くの流れが単なる潮流ではなく複雑な流れをしていることが予見される。このことは図-9においてもよくわかる。この記録の解析的考察はあらためて行ないたい。また流速計にも、なお二、三の問題点が残されているが、これでもできるだけ解決していきたい。

終りに本研究について御指導、御激励いただいた速水頌一郎教授および岩垣雄一教授に心から感謝の意を表したい。

参考文献

- 1) Böhnecke, G.: The principle for measuring currents, Assoc. d'ocean. phys., UGGI. Pub. Sci., No.14, 28p., 1955.
- 2) Sverdrup, H.U. et al.: The Oceans, p.363, 1942.

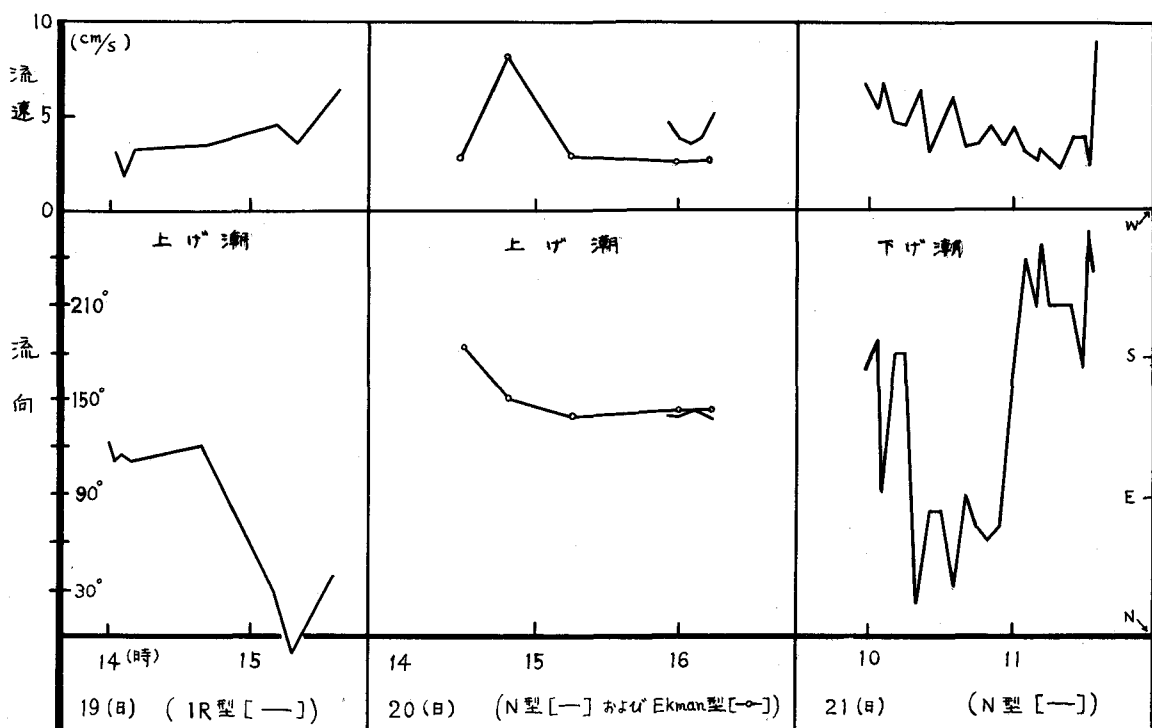


図-9 微流速計による観測記録の例(於京大海洋観測塔)

- 3) Helland-Hansen, B. et al.: The eastern north Atlantic. Geophyske pub. IV. 2., pp.3-75, 1926.
- 4) 村木義男：河川海岸用計測器の研究とその応用，土木試験所報告 No.31, pp. 71-75, 1962.
- 5) 中村充：流向流速計の試作，農業土木学会大会講演会要旨， p. , 1963.
- 6) 南敷：極微流速（あるいは地下水流速）の新しい測定法，農業土木別冊， No.3, pp.7-11, 1961.
- 7) Swallow, J.C.: A neutral buoyant float for measuring deep currents. Deep Sea Res., Vol.3, pp.74-81, 1955.
- 8) Swallow, J.C.: Some further deep current measurements using neutrally-buoyant floats., Deep Sea Res., Vol.4, pp.93-104, 1957.
- 9) 佐々木忠義他：深層流測定用釣合うきの研究，試作，理研報告， Vol.37, pp.94-100, 1961.
- 10) Volkman, G. et al.: The use of parachute drogues in the measurement of subsurface ocean current. Trans. A.G.U., Vol.37, pp.573-577, 1956.
- 11) Voux, D.: Current measuring in shallow waters by towed electrodes., J.M.R., Vol.14, pp.187-194, 1955.
- 12) Middleton, F.H.: An ultrasonic current meter for estuarine research., J.M.R., Vol.14, pp.176-186, 1955.
- 13) 永田豊：波の方向スペクトルの測定－電磁流速計の応用－，沿岸海洋測器に関するシンポジウムと講演の会予稿集， pp.15-24, 1963.
- 14) Nakamura, S.: Fundamental study on weak current meter, 1963.
- 15) 佐貫亦男：地上気象機械（共立）， p.252, 1948.
- 16) Chapman, S. et al.: Geomagnetism, p.96, 1940.
- 17) Lüders, K.: Die Ablenkung der Kompassnadel in Stromungsmessern mit magnetischer Richtungsangabe., Ann. Hydrogr. Maritime Met., pp.163-179, 1940.
- 18) Knauss, J.A.: Observation of irregular motion in the open ocean, Deep Sea Res., Vol.7, pp.68-69, 1960.
- 19) Nakamura, A.: Tidal currents in Tanabe Bay (2nd. report), Rec. Oceanogr. Works in Japan, Sp. No.3, pp.1-22, 1959.

測点	観測月日	観測時刻	測点深度	流速	流向	使用測器
古賀 浦	1960.8.24.	10 時 00 分	0.5 m	1.2 cm/s	85°	I-O
		22	3	1.6	18	
		40	4.9	0.5	15	
		24	0.5	1.7	5	
京大 海洋 観測 塔	1962.3.19.	14 02	0.55	3.16	110	I-R
		05		1.85	115	
		10		3.24	110	
	1962.3.20.	15 55	1.0	4.62	140	N
		16 00		3.8	140	
		05		3.61	143	
		10		3.9	—	
		15		5.2	139	

表 2 田辺湾における潮流観測記録