

海浜流系の現地観測

佐々木 民 雄

1. 概 説

毎年夏の海水浴シーズンには水の犠牲者の発生が新聞に報道されるが、その記事には「高波にさらわれた」あるいは「深みにはまり潮に流された」という様な表現がとられる。しかし実はその大部分は海浜流（nearshore current）、とりわけ冲向きの幅狭く速い離岸流（rip current）がその溺死等の原因である。そのため海水浴場の多くは離岸流の発生しにくいところに位置している¹⁾（図-1）。

海浜流は波浪によって生ずる波浪流（wave-induced current）であり、発電所の温排水のひろがりにも影響を与える。図-2はミシガン湖の発電所の例²⁾であり、岸に平行に流れる沿岸流（longshore current）の影響がよく示されている。

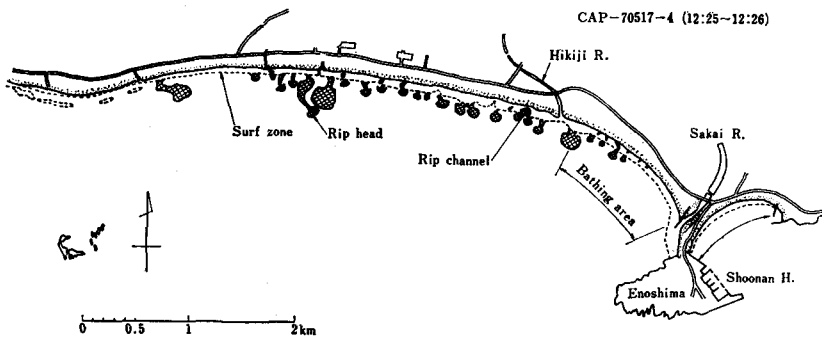


図-1 湘南海岸の離岸流，佐々木（1975）。

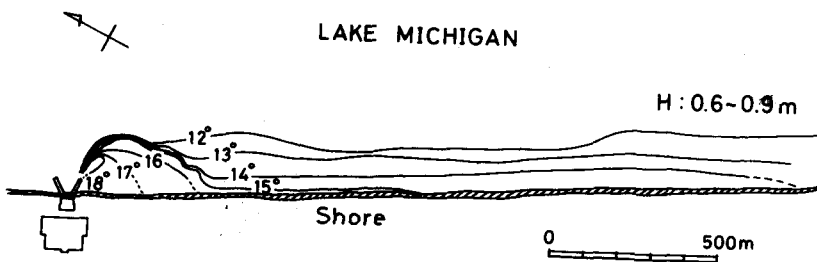


図-2 ポイント・ビーチ発電所の温排水の分布，Frigo and Frye（1972）

近年海岸侵蝕が全国的な現象となってきたが、波が巻き上げた砂を運ぶのは海浜流であり、海浜変の外力³⁾としても重要である。図-3は波・海浜流・漂砂・地形の相互作用を示したもので、海浜流は波と地形との相互作用の結果生ずるが、流れて波と地形が変化すると流れがかわるところに海浜流のむずかしさがある。

河川の流は感潮部以外では観測しなくても、少くともその流向はわかるが、海浜流では観測しなければその流向さえわからず、又、それも場所によって異なる（図-4）⁴⁾。海浜流は地球上に海が誕生した時から存在していたわけであるが、この様に関係する因子が多く、又、現象が平面的な拡がりをもつ非常に複雑な現象であるためその解明は遅れており、月や火星あるいは深海にまで人間の活動が及ぶ今日も、その現地観測には野外科学的・思想的アプローチ^{8), 9)}が求められている。

海浜流の研究は1970年代に入って、計測機器および理論的進歩に支えられ、日進月歩の発展を示しており、それらは佐々木(1971)¹⁰⁾、堀川(1972¹¹⁾、1973¹²⁾、

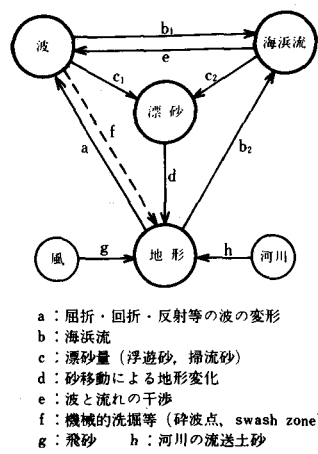


図-3 波・海浜流・漂砂・地形の相互作用, 堀川(1977)。

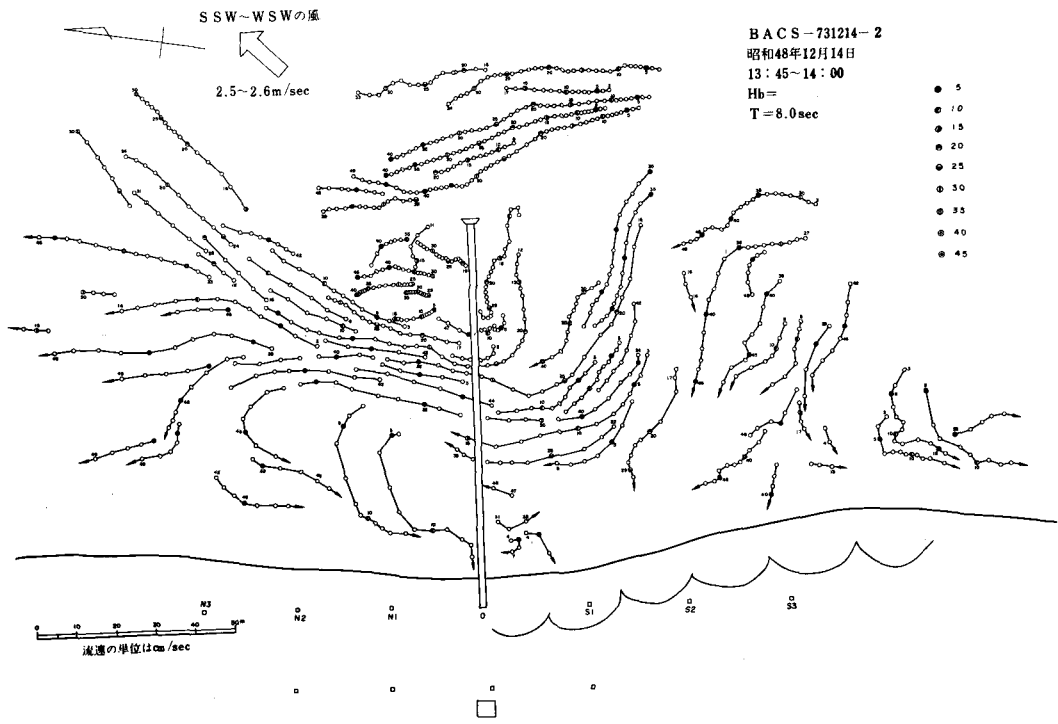


図-4 海浜流の観測例, 阿字ヶ浦海岸, BACS-731214-2, 建設省

橋本(1974¹³⁾、1975¹⁴⁾、玉井(1977)¹⁵⁾、Horikawa(1977¹⁶⁾、1978¹⁷⁾)にとりまめられている。1970年代に入って色々な観測器機およびシステムが考案されているので、主としてこれらを基に海浜流の観測方法を取りまとめた。

2. 海浜流のタイプ

海浜流は通常4つの部分に分けられて名前がつけられており（図-5）¹⁸⁾、波の質量輸送（mass transport, Q_w ）、岸に平行な沿岸流（ Q_l ）、沖向きの離岸流（ Q_r ）、および碎波帯沖のキノコ雲の

様な離岸流頭 (rip head) と呼ばれている。これらを総称して海浜流系 (nearshore current system) と呼び、この水の循環を海浜循環流 (nearshore circulation system) という。Harris (1969)¹⁹⁾ は南アフリカの観測から図-6 の様な3つのタイプを示している。①は波がほとんど海岸に直角に来た場合であり、緩勾配海岸 (図-7, 上) に対応し、③は波が急勾配の海岸 (図-7, 下) に大きい角度で来襲する場合であり、②は両者の中間である。日本では①と②の観測例が多いのに対して、アメリカ、イギリス、カナダの観測例には③が多いが、図-7 ではその生起頻度は10%と少ない。

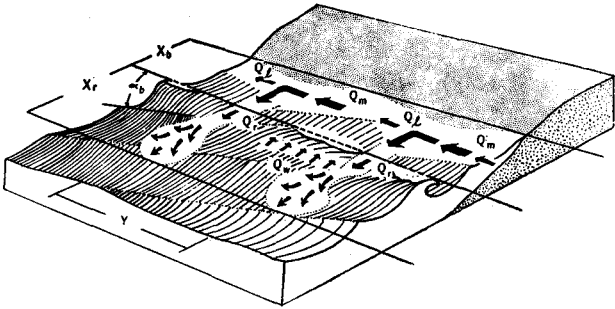


図-5 海浜流の模式図, Inman and Brush (1973)

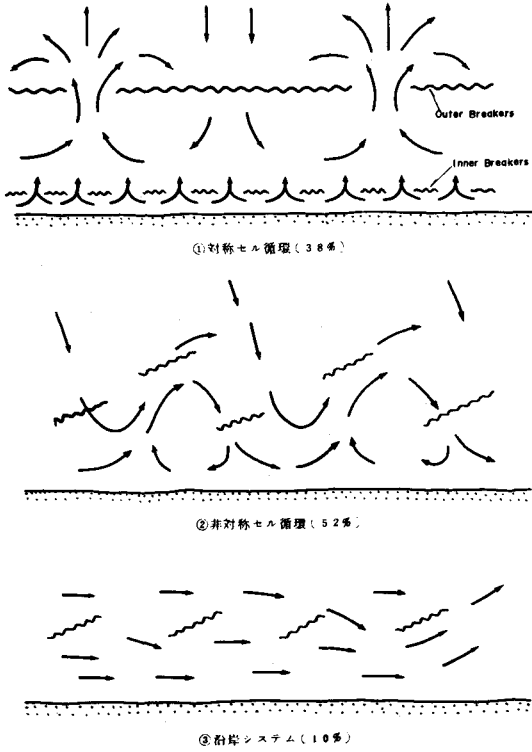


図-6 海浜流系のタイプ, Harris (1969)

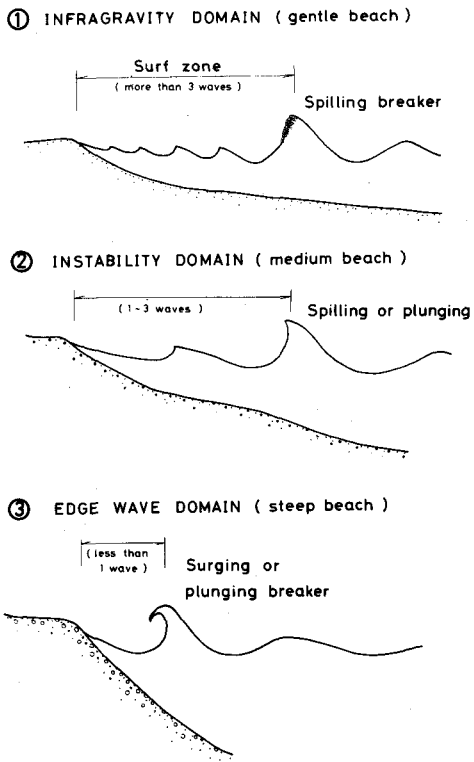


図-7 海浜流のタイプ, Sasaki, Horikawa and Hotta (1976)

3. 海浜流の観測方法

海浜流は時間的にも空間的にも変化し、又、この流れの卓越する砕波帯付近は波が高く流れが強いので人間の自由な活動が拒まれており、又水深が浅いので船も入れないため観測が非常にむづかしい。表一は色々な観測方法を比較したものであり、時間的な変化に対しては流速計を、空間的な変化に対しては何らかの写真測量の原理を用いた観測法を必要とする。非常に広い範囲の流況を短時間でつかむには航空写真が有用である。

表一 各種の海浜流観測方法、佐々木(1972)、橋本(1975)を一部修正

特 性 観 測 方 法		測定原理		流速場		波 向 の 測 定	他 の パ ラ メ ー タ ー と の 同 時 性	精 度	広 い 地 域 を カ バ ー	時 化 で も 実 施	コ ス ト	長 所	短 所	
		ラ グ ラン ジ ュ 風	オ イ ラ 風	写 真 測 量	平 面 分 布									鉛 直 分 布
現在の方法	ロケットでフロートを投入する方法	○					×	×	○	△	◎	時化の観測法	流速場がとれない。他のパラメーターとの同時性がない。フロートに工夫がいるであろう。	
	平板、トランシットを用いる方法	○					△	×	○	△	△	◎		安く簡単にできる
	電磁流速計		○			○	△	△	○	×	×	○	流速の時間変動を観測できる	広い地域をカバーしたり、鉛直分布をとるには複数の流速計が要る
	既存の航空写真の解読	○		○	○		◎	×	×	◎	△	◎	広い地域の概略が机上でわかる	適当な写真がなければ実施できない
	ポール・フロートによる方法	○					×	×	△	◎	○	◎	海浜流の規模を知るのによい	他のパラメーターとの同時性は定性的
	気球カメラ・システム（ABCS）	○		○	○		◎	○	○	△	△	○	流速場をつかみ、メカニズムの研究に適す SIHELに比し簡便	風に弱い。広い地域をカバーできない。波高がとれない。
	同時ヘリコプター・システム（SIHEL）	○		○	○		◎	◎	◎	○	○	×	精度が高く、BACSより広い地域をカバーできる。波高がとれる。	コストが高い。スケジュールが組みにくい。かなり人手がかかる。
将来の方法	レーダーを用いる方法	○		○	○		◎	◎	◎	○	○	○	定常的に観測可能。広い地域をカバーできる。	コストが高い。SIHELより若干精度が下がる。波高はとれない。
	ステレオ気球・カメラ・システム（STEREO-BACS）	○		○	○		◎	◎	◎	○	○	○	精度高い割に、コストが安い。波高がとれる。	人手がかなりかかる。
	レッカー地上写真による方法	○		○	○		◎	◎	◎	○	◎	○	STEREO-BACBより風に強く、SIHELよりコストが安い。	レッカー車が浜に入れないと実施できない。

凡例 ◎…満足 ○…ほぼ満足 △…問題あり、不明、その他 ×…非常に難しい、不可能

4. 観測ステーション

上述の様に、波高く、流れの強い砕波帯では船も人も自由に動けない。これを克服する手段には観測栈橋²¹⁾と水陸両用車の2つがある。図一8はスクリップス海洋研究所の栈橋であり、先端水深は約5mである。図一9は1977年に完成した米国海岸工学研究センター(CERC)の栈橋であり、長さ約600mであり工費は約16億円である。わが国においても建設省が茨城県の阿字が浦海岸に長さ200m



図-8 スクリップス 桟橋, 堀田新太郎氏撮影



図-10 LARC-V, Teleki et al. (1975)

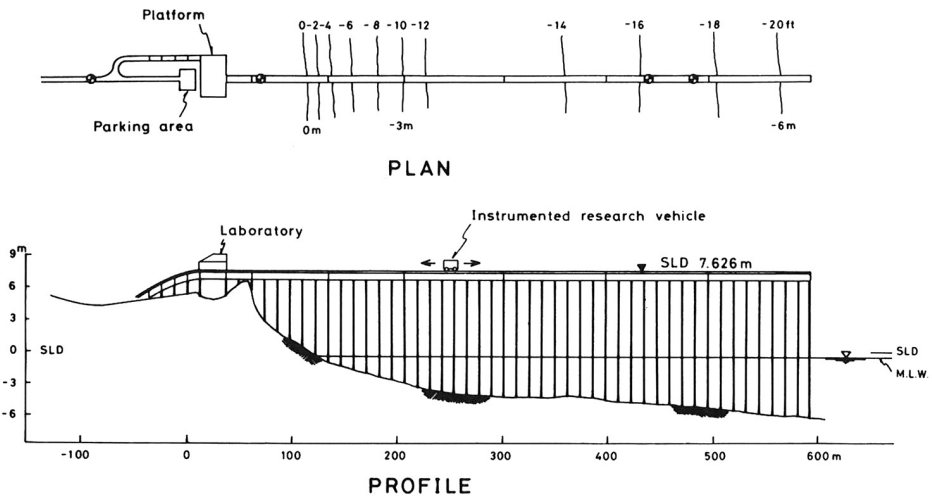


図-9 海岸工学研究センターの桟橋 (1977年完成,
ノース・カロライナ州, Duck)

の桟橋を建設し, 昭和47年度より現地観測が実施されている。^{4)~7), 22)~28)} この桟橋は後述する気球の係留, 写真の標定その他, 観測において果す役割は非常に大きい〔堀川 (1974)²¹⁾, 橋本・宇多 (1975)²²⁾〕

もう1つの方法の水陸両用車はアメリカでひろく用いられている方法であり, 図-10はTODAS〔Towed Oceanographic Data Acquisition System, Teleki et al. (1975)²⁹⁾〕の一部としてソリ(sled)をひいているLARC-Vと呼ばれる水陸両用車で, この他にもアイソドープによる漂砂調査, 深浅測量など多方面に応用され, 波高2 mまでは碎波帯内を自由に動けるそうである。

5. 写真測量の原理を応用した海浜流観測 (ラグランジ風)

流れの空間的な分布を測定するには写真測量の力を借りねばならない。表-2はSonu (1969)³¹⁾ が初めて気球にNikon モータードライブを吊り下げて観測して以来, 今日まで実施されてきた観測例をとりまとめたものであり, 定量的な観測にはヘリコプター^{33), 35)} 又は気球が空中観測ステーションとして用いら

表－2 写真測量の原理を応用した海浜流観測

ステーション	記号	発 表 者	空中写真		地上写真	フィルム (カメラ)				ステレオ	熱赤外	トレーサー				備 考
			固定翼	ヘリ	気球	水平	斜め	35mm	70mm	9 inch	大型	フロート	染料	濁り	水温	
空 中	A 1	Sonu (1969)			○			○				○	○			フロリダ
	A 2	堀川ら(第1報, SIHELs, 1971)		○						○		○				湘南海岸
	A 3	堀川・佐々木ら(BACS, 1971)			○			○				○				湘南海岸
	A 4	堀川・佐々木ら(第1報, 1976)			○			○			○	○				STEREO-BACS
	A 5	田中・小笹・加藤(1977)		○						○		○				仙台港
地 上	B 1	土屋・芝野・中村(1973)					○	○				○				大潟海岸
	B 2	服部・鈴木・佐藤(1974)				○				○	○	○				遠州灘
	B 3	Maresca and Seibel (1976)					○	○			○		○			カリフォルニア
隔 測	C 1	Inman et al (1968)	○											*1 ○		カリフォルニア
	C 2	佐々木・五十嵐(1973)	○							○				○		湘南・九十九里
	C 3	堀川・砂村(1976)	○					*2 ○						○		勝浦湾
	C 4	堀川・林・水口(1977)	○					○			○				*3 ○	福島

*1：人工的に泥水を放出， *2：マルチスペクトル・カメラ， *3：温排水

れ、カメラも70mm以上が用いられている。ステレオ撮影は4例みられ、波高分布が得られる点、情報量が飛躍的にふえるが、まだ十分に実用化されてはいない。気球の係留技術の向上により最近では高度700m程度の高さから流れの撮影が実施されている⁴³⁾(図-11のHIGH-BACS)。

図-13は1978年1月12日に阿字が浦海岸で実施された気球カメラ(BACS, Balloon Camera System)による観測例であり、図-4の様なフロートの軌跡から求めた流速ベクトルの分布である。カメラは測量用のHasselbra MK-70を用いているので1970年代前半のものに比べ、精度が格段と向上している。

隔測(リモート・センシング)⁴⁵⁾は定性的ではあるが広範囲の情報を得るのに適し、碎波帯付近のにごり^{41), 42)}や水温分布⁴³⁾がトレーサーの役目をする。Inman et al. (1968)⁴⁰⁾は大量の泥水を人工的に一週間にわたり碎波帯に連続投入して海浜流型拡散パターン⁴¹⁾を観測した。地上写真測量は気球の様に気象、特に風、に左右されず簡便であるのが長所であるが、広い範囲を写すのがむづかしいのが難点である。

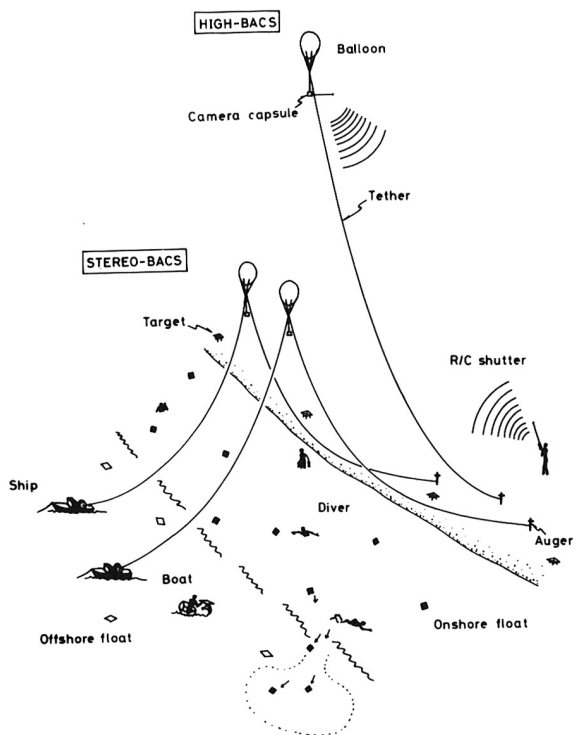


図-12 砂浜の作業に必要なオフロード・タイヤ

図-11 気球を用いた流れの観測システム（模式図）

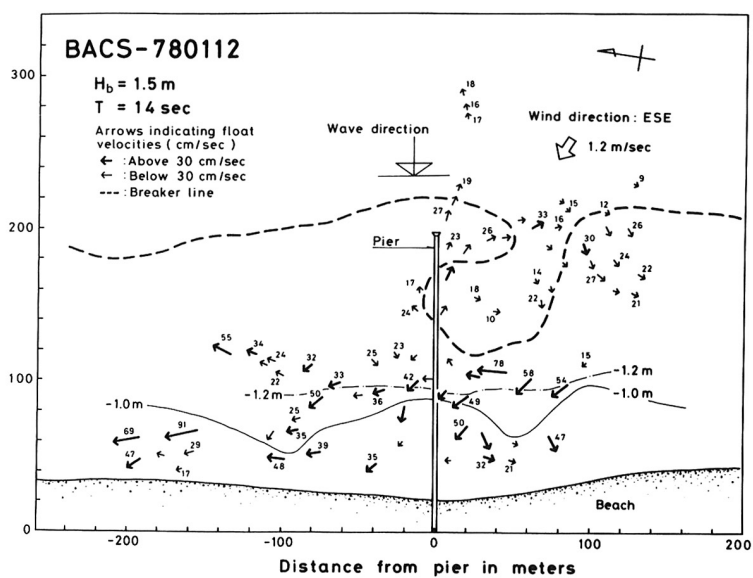


図-13 BACS - 780112

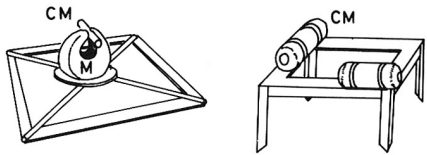
6. 流速計を用いた海浜流観測（オイラー風）

流れの時間的変化を観測するには流速計が用いられる。砕波帯内の流れは波の水粒子運動と平均流としての海浜流と更に長周期の流れが重なり、砕波帯沖側の潮流等を計を流速計を砕波帯内で用いる

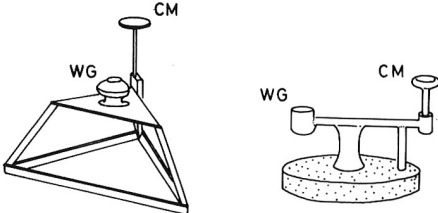
表一 3 流速計を用いた海浜流観測

流速計	記号	発 表 者	目 的	台数	場 所
電 磁 流 速 計	D 1	永田（1959，1963）	流速計の開発と離岸流・ビートの観測	1	新潟海岸
	D 2	永田（1963） 永田ら（1963）	波向観測（水深3～10m）	2	福井県三国港
	D 3	岩田ら（1971）	定常観測用電磁流速計の開発	1	平塚
	D 4	岩田・田中（1972）	沿岸流の観測と摩擦係数評価	1	平塚
	D 5	Dette and Führböter（1974）	台風時の沿岸流	2	北海 Sylt 島
	D 6	Führböter and Büsching（1974）			
	D 7	Huntley and Bower（1974 1975 b）	海浜流の流速，急勾配と緩勾配海岸との相異	3	イギリス
	D 8	Huntley（1976 a）	海底摩擦係数の評価	1	イギリス
プロペラ式流速計	E 1	Murray（1970）	台風時の沿岸流（水深6.3 m）	1	フロリダ
	E 2	Sonu	離岸流の脈動と潮時	2	フロリダ
	E 3	Meadows（1976）	沿岸流の鉛直分布，エッジ波	3	ミシガン湖
	E 4	Teleki et al（1976）	TODASの一部	4	ミシガン湖

ことができない。このため回転部分のない電磁流速計(electromagnetic flow meter)が永田（1959）⁴⁶⁾以来各種開発されている(図－14)。



a) 永田（1959） b) 岩田 等（1971）

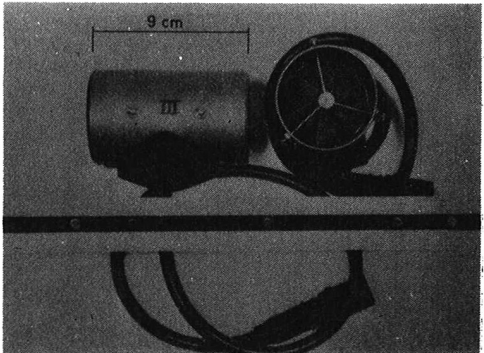


c) Huntley and Bowen（1974） d) Dette and Führböter（1974）

図－14 各種の電磁流速計

図中CMは流速計センサー部，Mは永久磁石，WGは波高計センサーである。b)岩田ら(1971)⁵⁰⁾のとd) Dette and Führbater(1974)⁵⁴⁾のシステムは定常観測用である。

プロペラ式流速計は図－15の様に波の水粒



図－15 Ducted current meter

子運動を除去するために、筒の中にプロペラを納めたものが開発され、アメリカで用いられている。^{62)~66)}
 表-3にはこれらの使用例を示したが、電磁流速計によって海底摩擦係数の評価⁶¹⁾や、波向の方向スペクトルの観測^{48), 49)}もできる。

7. TODAS

流速計による観測はある点における測点であり、いくら多くの流速計を用いても面的な観測はむづかしい。即ち、オイラー風とラグランギ風の観測手法を組み合わせることが望ましい。TODASはアメリカの海岸工学研究センターの開発したシステムであり、図-10に示したLARC-Vとsea sled(ソリ)^{29), 65)}(このソリに流速計がつけられている)を2台用い、その間で染料を流して航空写真撮影を行なおうとするシステムである。このsea sledは南アフリカでも日本⁶⁷⁾でも用いられている。

8. 染料を用いた海浜流観測

フロートは碎波帯内で波に乗ってサーフィンをしやすいが、これに対して染料は優れた流れのトレーサーである。表-4は染料がトレーサーとして用いられた観測例である。特にF7に示すSchneider(1977)⁷²⁾の観測は1978年に打ち上げられるSEASAT-A衛星の搭載機器のテスト用の流れに関するsea truth dataを集める目的で実施された。F8⁴⁸⁾は温排水と海浜流との干渉を扱っている。

表-4 染料を用いた海浜流観測

記号	発 表 者	目 的	場 所
F 1	Carter and Okubo (1965)	宇宙ロケットの打上げ事故の生じた場合に対する事前調査	ケネディー岬
F 2	Harris (1967)	海浜流のパターン	南アフリカ
F 3	Inman et al (1968)	海浜流の希釈混合機構	カリフォルニア
F 4	Sonu (1969, 1972, 1976)	蛇行海浜流のパターンとの混合	フロリダ
F 5	Teleki and Prins (1973)	マリーナの周辺の流れ	カリフォルニア
F 6	Teleki Musialowski and Prins (1975)	TODAS*の開発	ミシガン湖
F 7	Schneider (1977)	SEASAT-Aの搭載機器テストのためのsea truth(沿岸流速)	フロリダ
F 8	堀川・林・水口(1977)	温排水と海浜流の干渉	福島

*Towed Oceanographic Data Acquisition Systemの略

9. 碎波帯の長周期変動の観測

通常われわれが海岸で見る波は周期が20 sec以下であるが、その重力波にかくれて周期20~30 sec以上の波が海浜流に大きな影響を与えているといわれている。^{25), 26)} 従来これらの波はサーフ・ビート(surf beat)⁷³⁾と呼ばれていたが、これらはedge waveという岸に平行に走る波であるという観測がある(表-5のI1~I6)。センサーの台数が少ないと複雑な波形を捕えることができない。

表-5 砕波帯の長周期変動の観測

種別	記号	発 表 者	観 測 方 法					センサ ーの数	場 所	備 考
			*1 カ メ ラ	波 高 計	流 速 計	染 料	*2 フ ロ ー ト			
サ ー フ ・ ビ ー ト	G 1	Harris (1969)					○ ○		南アフリカ	離岸流の脈動 (8 min)
	G 2	Sonu (1972)			○			2	フロリダ	離岸流の脈動
	G 3	Suhayda (1972, 1974)		○				4~5	メキシコ, アラスカ	leaky mode
	G 4	合田 (1975)	○	*3 ○				1	新潟・宮崎・大洗	沖波との波高比
	G 5	小倉ら (1976)	○	○				3	唐津	平均水位
	G 6	藤縄・岡田 (1976)		○				1	平塚	沖波との波高比
	G 7	田中・小笹・加藤 (1977)	○					4	仙台港	
	G 8	橋本ら (1977)		○				*4 9 (4)	平塚	
ス ウ ォ ッ シ ュ	H 1	Nagata (1964)			○			1	東海村	
	H 2	Waddel (1973)		○					フロリダ	
	H 3	Sonu et al (1974)		○ ○					フロリダ	
エ ッ ジ 波	I 1	Huntley and Bowen (1973, 1975 a)			○			1	イギリス	Subharmonic mode
	I 2	堀川・佐々木ら (第2報, 1974)		*5 ○				3	鹿島 阿字が浦	外重力エッジ波
	I 3	Sasaki Horikawa and Hotta (1976)	○					6	阿字が浦	low mode エッジ波
	I 4	Meadows (1976)			○			3	ミシガン湖	周期 80 sec
	I 5	Huntley (1976 b)			○			3	イギリス	多重 low mode
	I 6	佐々木・堀川・久保田 (第5報, 1977) *6	○					11	阿字が浦	

*1 : メモーション・カメラ, *2 : ひも付フロート, *3 : 沖波, *4 : 9 台用いたが 4 台の記録がとれた,
*5 : 水銀を用いた長周期波計, *6 : 長時間 BACS (LONG-BACS)

長周期波に関連して波打ち帯 (Swash zone) の dynamics の研究がいくつか行なわれている。^{81)~83)}

10. 長期・定期・定常観測

波浪観測の様に海浜流の定常観測はまだ実施されてはいない様であるが, Zwanborn et al. (1972)⁸⁴⁾ は南アフリカで行なっている 3 つの連結係留されたブイを陸上から目視観測し, 流向流速を定常観測した結果を報告している。経済的な理由によりなかなか長期観測を実施するのは困難であるが, Schneider (1977) は単一の観測で, 一日の流れを代表するのさえ難しいと指摘している。Dennis and Hawley (1972)⁸⁵⁾ は砕波帯長期観測用の 16 mm カメラによるモニター・システムを提案している。

11. 簡便な海浜流調査

海水を入れた小さなボールを陸上から追跡した結果の一例を図-16に示す。⁸⁶⁾ 簡便であるが離岸流の発生間隔をよくとらえている。離岸流の発生間隔を調べる目的では図-17の様にひものついたフロートを砕波帯中で流し、そのひもの張るまでの時間を計り、流向と流速を調べ、これを沿岸方向に繰り返すと離岸流の位置を発見することができる。

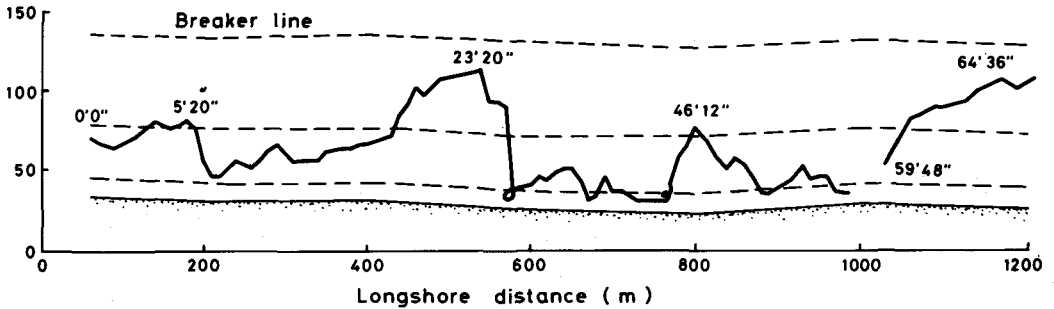


図-16 ポール・フロートによる海浜流調査, 佐藤 (1966)

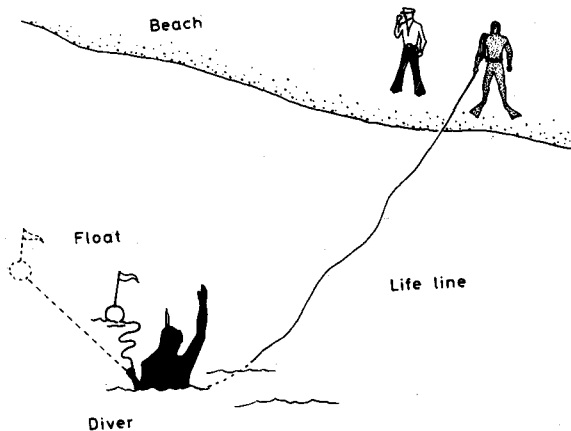


図-17 離岸流発生間隔の調査

12. 結 語

主として1970年代に盛んになった、ほぼ最近10年間の海浜流観測の実例の整理を試みた。アメリカの例としてスクリップス海洋研究所にも優れたハードウェアがある。ここでは述べなかったが流れは地形の影響を強く受けるので砕波帯の地形測量は重要である。今後は、この流れの調査を漂砂観測〔橋本(1977)⁸⁷⁾〕と組み合わせて総合的な観測が必要であろう。最後に当小論を作成するに当たり、東京大学工学部土木工学科堀川清司教授より御指導いただいたので、ここに記して深甚の謝意を表する次第である。また、Coastal Engineering Research Centerの研究栈橋の図面についてはRichard Weggel博士のお世話になった。尚、本文中の図-13の観測はトヨタ財団の研究費の一部であることを付記する。

参 考 文 献

- 1) 佐々木民雄(1975):「海洋性レクリエーション工学アラカルト, 土木学会誌, 60(8), 71-76.
- 2) Frigo, A.A. and D.E.Erye (1972): Physical measurements of thermal discharges into Lake Michigan, Argonne National Laboratory, ANL/ES-16.
- 3) 堀川清司(1977): 海浜変形予測手法の開発について, 海岸, 17号, (社)全国海岸協会, 45-49.
- 4) 建設省土木研究所(1974): 波浪・海浜流に関する現地観測調査(その1), 土木研究所資料第916号.
- 5) 建設省土木研究所(1975): 波浪・海浜流に関する現地観測調査(その2), 土木研究所資料第1005号.
- 6) 建設省土木研究所(1976): 波浪・海浜流に関する現地観測調査(その3), 土木研究所資料第1138号.
- 7) 建設省土木研究所(1977): 波浪・海浜流に関する現地観測調査(その4), 土木研究所資料第1230号.
- 8) 川喜田二郎(1967): 発想法, 中公新書136, 中央公論社
- 9) 川喜田二郎(1973): 野外科学の方法, 中央新書332, 中央公論社
- 10) 佐々木民雄(1971): 沿岸流について, 沿岸海洋研究ノート, 9(1), 31-41.
- 11) 堀川清司(1972): 沿岸付近の流れ, 水工学シリーズ, 72-B-6, 土木学会.
- 12) 堀川清司(1973): 海岸工学, 東京大学出版会.
- 13) 橋本 宏(1974): 海岸における流れについて, 海岸実務講義集, (社)全国海岸協会, 37-49.
- 14) 橋本 宏(1975): 海浜流について, 土木技術資料, 17(10), 498-504.
- 15) 玉井佐一(1977): 海浜流と海浜地形, 水工学シリーズ, 77-B-4, 土木学会.
- 16) Horikawa, K. (1977): Nearshore current treatments and their applications to engineering problems, Proc. 4th International Conf. on Port and Ocean Eng. under Arctic Conditions, Memorial University of Newfoundland, St. John's Canada, 84-114.
- 17) Horikawa, K. (1978): Coastal Engineering, An introduction to Ocean Engineering, University of Tokyo Press.
- 18) Inman, D.L. and B.M. Brush (1973): The Coastal Challenge, Science, 181(6), 20-32.
- 19) Harris, T. F. W. (1969): Nearshore circulation: Field observation and experimental investigation of an underlying cause in wave tanks, Symposium on Coastal Eng., South Africa.
- 20) 佐々木民雄(1972): 海浜流のモデルとその観測方法に関する研究, 東京大学大学院修士論文.
- 21) 堀川清司(1974): ビヤーの効用, 海岸, 14号, (社)全国海岸協会, 49-54.
- 22) 橋本 宏・宇多高明(1975): 波浪・海浜流・漂砂の観測システムとその応用例, 土木技術資料, 17(1)
- 23) 堀川清司・佐々木民雄・堀田新太郎・桜本 弘(1974): 海浜流に関する研究(第2報)——海浜流の現地観測——, 第21回海岸工学講演会論文集, 347-354.
- 24) 堀川清司・佐々木民雄・堀田新太郎・桜本 弘(1975): 海浜流に関する研究(第3報)——海浜流系の規模——, 第22回海岸工学講演会論文集, 127-134.
- 25) 堀川清司・佐々木民雄・堀田新太郎・久保田 進(1976): 海浜流に関する研究(第4報)——緩勾配海岸の海浜流——, 第23回海岸工学講演会論文集, 365-370.
- 26) 佐々木民雄・堀川清司・久保田 進(1977): 海浜流に関する研究(第5報)——海浜流の長周期変動——, 第24回海岸工学講演会論文集, 586-590.
- 27) Sasaki, T. and K. Horikawa (1975): Nearshore current system on a gently sloping bottom, Coastal Eng. in Japan, 18, 123-142.
- 28) Sasaki, T., K. Horikawa and S. Hotta (1976): Nearshore current on a gently sloping beach, Proc. 15th Coastal Eng., 626-644.

- 29) Teleki, P. G. , F. R. Musialowski and D. A. Prins (1975) : Data acquisition methods for coastal currents, Proc. Civil Eng. in the Oceans/III, Newark, Del., ASCE, 1190-1210.
- 30) Tompson, M. M. (1966) : Manual of Photogrammetry, 1, 3rd. ed. . Amer. Soc. Photogrammetry, George Banta Co., Menasha, Wisconsin, 536 pp.
- 31) Sonu, C. J. (1969) : Tethered balloon for study of coastal dynamics, Proc. Symp. on Earth Observations from Balloons, Amer. Soc. Photogrammetry, Tech. Rep., (66), 91-103.
- 32) 堀川清司・佐々木民雄・五十嵐 元・鬼頭平三 (1971) : 海浜流観測用気球カメラ・システムの開発, 土木学会第26回年次学術講演会講演概要集, II-34, 89-90.
- 33) 堀川清司・佐々木民雄・福井直治・五十嵐 元・鬼頭平三 (1971) : 海浜流に関する研究 (第1報) — 観測法と湘南海岸における観測例 —, 第18回海岸工学講演会論文集, 395-400.
- 34) Horikawa, K. and T. Sasaki (1972) : Field observations of nearshore current system, Proc. 13th Coastal Eng. Conf., Vancouver, 635-652.
- 35) 田中則男・小笹博昭・加藤一正 (1977) : 防波堤周辺における海浜流の研究 — 仙台新港南海岸における観測例 —, 第24回海岸工学講演会論文集, 605-609.
- 36) 土屋義人・芝野照夫・中村重久 (1973) : 大潟海岸における沿岸流の特性, 第28回年次学術講演会講演概要集, 102-103.
- 37) 服部昌太郎・鈴木隆介・佐藤敏夫 (1974) : 遠州海岸中央部の海浜変形と漂砂, 第21回海岸工学講演会論文集, 127-134.
- 38) 春日屋伸昌・佐藤敏夫 (1973) : 流体測定用ステレオカメラの試作について, 第28回年次学術講演会講演概要集, 289-290.
- 39) Maresca, Jr. J. W. and E. Seibel (1976) : Terrestrial photogrammetric measurements of breaking waves and longshore currents in the nearshore zone, Proc. 15th Coastal Eng. Conf., 681-700.
- 40) Inman, D. L. , R. J. Tait, P. D. Komar and C. E. Nordstrom (1968) : Dispersion of water and sediment in the surf zone, Scripps Institution of Oceanography, University of Calif., SIO Reference 69-10.
- 41) 佐々木民雄・五十嵐 元 (1973) : 沿岸海域の水質と底質に及ぼす波と風の影響に関する野外研究, 第1回環境問題シンポジウム講演集, 土木学会, 17-21.
- 42) 堀川清司・砂村継夫 (1976) : 可視領域リモートセンシングによる海岸環境の計測, 第23回海岸工学講演会論文集, 567-571.
- 43) 堀川清司・林 銘崇・水口 優 (1977) : 破波帯内に放流された温水の挙動について, 第24回海岸工学講演会論文集, 457-461.
- 44) 中村義治・堀川清司 (1977) : 開放性海域に放出される温水の拡散について, 第24回海岸工学講演会論文集, 462-466.
- 45) Reeves, R. G. (ed.) (1975) : Manual of Remote Sensing ; Vol. 1, Theory, Instruments, and Techiques ; Vol. 2, Interpretation and Applications, Amer. Soc. of Photogrammetry, Virginia.
- 46) 永田 豊 (1959) : 電磁流速計の海浜への応用, 第6回海岸工学講演会講演集, 45-48.
- 47) 永田 豊 (1964) : 波向観測の必要性和その方法, 沿岸海洋研究ノート, 3 (1), 7-12.
- 48) 永田 豊 (1963) : 波の方向スペクトルの測定 — 電磁流速計の応用 —, 沿岸海洋研究ノート, 2 (1), 15-18.
- 49) 永田 豊・彦坂繁雄・松本信保 (1963) : 電磁流速計による波向観測 — 福井県三国港における観測結果より —, 第10回海岸工学講演会講演集, 37-41.

- 50) 岩田憲幸・藤縄幸雄・田中孝紀・浅田康夫・関本道夫(1971): 砕波と沿岸流, 防災科学技術総合研究報告, 25, 87-95.
- 51) 岩田憲幸・田中孝紀(1972): 砕波体内の沿岸流, 防災科学技術総合研究報告, 28, 113-119.
- 52) 藤縄幸雄・岡田憲司(1976): サーフ・ビートの特性(Ⅱ), 1976年度日本海洋学会春季大会講演要旨集, 175-176.
- 53) Führeböter, A. (1970): Air entrainment and energy dissipation in breakers, Proc. 12th Coastal Eng. Conf., 391-398.
- 54) Dette, H.H. and A. Führeböter (1974): Field investigations in surf zones, Proc. 14th Coastal Eng. Conf., 518-537.
- 55) Führeböter, A. and F. Büsching (1974): Wave measuring instrumentation for field investigations on breakers, Proc. Symp. on Ocean Wave Measurement and Analysis, 649-668.
- 56) Huntley, D.A. and A. J. Bowen (1973): Field observations of edge waves, Nature, 243, 160-162.
- 57) Huntley, D.A. and A. J. Bowen (1974): Field measurements of nearshore velocities, Proc. 14th Coastal Eng. Conf., 538-557.
- 58) Huntley, D.A. and A. J. Bowen (1975a): Field observations of edge waves and their effect on beach material, Jour. Geol. Soc., 131, Jan., 69-81.
- 59) Huntley, D.A. and A. J. Bowen (1975b): Comparison of the hydrodynamics of steep and shallow beaches, in Nearshore Sediment Dynamics and Sedimentation, ed. J. Hails and A. Carr, John Wiley & Sons, London, 69-110.
- 60) Huntley, D.A. (1976b): Long-period waves on a natural beach, Jour. Geophys. Res., 81(36), 6441-6449.
- 61) Huntley, D.A. (1976a): Lateral and bottom forces on longshore currents, Proc. 15th Coastal Eng. Conf., 645-659.
- 62) Murray, S.P. (1970): Bottom currents near the coast during Hurricane Camille, Jour. Geophys. Res., 75(24), 4579-4582.
- 63) Sonu, C.J. (1972): Field observation of nearshore circulation and meandering currents, Jour. Geophys. Res., 77(10)
- 64) Meadows, G.A. (1976): Time dependent fluctuations in longshore currents, Proc. 15th Coastal Eng. Conf., 660-680.
- 65) Teleki, P. G., F.R. Musialowski and D.A. Prins (1976): Measurement techniques for coastal waves and currents, Coastal Eng. Res. Center, Corps of Eng., CERC MR 76-11.
- 66) Teleki, P. G., R.K. Schwartz and F.R. Musialowski (1976): Nearshore waves, currents and sediment response, Abstract 15th Coastal Eng., Hawaii, 569-572.
- 67) 田中則男(1975): 砕波帯内における浮遊砂分布の一観測例とその観測方法について, 第22回海岸工学講演会論文集, 319-324.
- 68) Carter, H.H. and Akira Okubo (1965): A study of the physical processes of movement and dispersion in the Cape Kennedy area, Chesapeake Bay Institute, The Johns Hopkins University, Rep. No. NYO-2973-1.
- 69) Harris, T.F.W. (1967): Field and model studies of the nearshore circulation, Ph. D. Thesis, Dept. of Physics, Univ. of Natal, South Africa.
- 70) Sonu, C. J. (1976): Mixing in the nearshore circulation system, Abstracts of 15th Coastal

Eng. Conf., Hawaii, 490-492.

- 71) Teleki, P. G. and D. A. Prins (1973) : Photogrammetric experiments on nearshore mixing and diffusion, Proc. 2nd International Conf. on Port and Ocean Eng. under Arctic Conditions, 251-265.
- 72) Schneider, C (1977) : Visual surf observations/Marineland experiment, Proc. 5th Symposium of the Waterway, Port, Coastal and Ocean Division of ASCE, " Coastal Sediments '77 ", 1086-1100.
- 73) ウィラード・バスカム 吉田耕造/内尾高保 訳 (1977) : 海洋の科学, 海面と海岸の力学, 河出書房新社, 186-188.
- 74) Suhayda, J. N. (1974 a) : Determining nearshore infragravity wave spectra, Proc. Symp. on Ocean Wave Measurement and Analysis, New Orleans, 54-63.
- 75) Suhayda, J. N. (1974 b) : Standing waves on beaches, Jour. Geophys. Res., 79 (2), 3065-3071.
- 76) Suhayda, J. N. and N. R. Pettigrew (1977) : Observations of wave height and wave celerity in the surf zone, Jour. Geophys. Res., 82 (9), 1419-1424.
- 77) 合田良実 (1975) : 浅海域における波浪の砕波変形, 港湾技術研究所報告, 3 (3), 59-106.
- 78) 合田良実 (1976) : 海岸における波の不規則性とその応用, 第23回海岸工学講演会, 波のランダム特性とその予測・応用に関するシンポジウム, 土木学会.
- 79) 橋本 宏・山口 修・宇多高明・高木守夫 (1977) : 平塚海岸における長周期波の現地観測, 第24回海岸工学講演会 論文集, 127-131.
- 80) 藤縄幸雄・岡田憲司・渡部 勲 (1977) : 波浪に伴う長周期波(サーフ・ビート)の特性 (Ⅱ), 国立防災科学技術センター研究報告, 第17号, 111-166.
- 81) Nagata, Y. (1964) : Deformation of temporal pattern of orbital wave velocity and sediment transport in shoaling water, in breaker zone and on foreshore, Jour. Oceanogr. Soc. Japan, 20 (2), 7-20.
- 82) Waddel, E. (1973) : The dynamics of swash and its implication to beach response, Ph. D. Dissertation, Louisiana State Univ.
- 83) Sonu, C. J., N. Pettigrew, and R. G. Fredericks (1974) : Measurement of swash profile and orbital motion on the beach, Proc. Symp. on Ocean Wave Measurement and Analysis, New Orleans, 621-638.
- 84) Zwanborn, J. A., K. S. Russel and J. Nicholson (1972) : Coastal engineering measurements, Proc. 13th Coastal Eng. Conf., Vancouver, 75-94.
- 85) Berg, D. W. and E. F. Hawley (1972) : Time-interval photography of littoral phenomena, Proc. 13th Coastal Eng. Conf., Vancouver, 725-745.
- 86) 佐藤昭二 (1966) : 漂砂, 水工学シリーズ, 66-19.
- 87) 橋本 宏 (1977) : 漂砂観測, 水工学シリーズ, 77-B-6.