

波向・海浜流の長期・短期観測データの比較

宇 多 高 明*

1. ま え が き

近年、全国各地で海岸侵食が問題とされるようになった。海岸侵食の防止を図るためには漂砂現象の解明が必要であり、漂砂の機構を調べることが不可欠であるが、漂砂を生じさせる直接的要因となる海浜流についても理解が必要である。

海浜流に関しては、現地海岸でその機構を明らかにしようとする研究が行われている。佐々木・堀川らは気球を用いた海浜流の観測法を開発し、茨城県の阿字ヶ浦で観測を行い、種々の波浪、地形条件のもとでの流れの分布を観測した。また離岸流の発生と長周期波との関連について議論した。また筆者らは、広範囲の流れの特性を把握するために、リモートセンシング技術に応用した観測法を提案し、数年間にわたり観測を行って来た^{2)~7)}。これにより、広範囲における海浜流の特性を明らかにすることができた。しかしこの種の集中観測は多額の費用を要するために、長期間頻繁に観測を繰返して行うことは現実的ではない。現地海岸の波や流れは時々刻々変動しているが、平均的に見ると長周期の季節変動を有している⁸⁾。この場合短期集中観測による波や流れのデータが、長期的意味における変動をどの程度代表しうるものかを調べることは重要である。なぜならば、短期、長期観測の結果が良く対応するとすれば、代表地点で波向、波高、沿岸流流速などの季節的变化を明らかにしてお

き、一方、代表時期の集中観測によって広域の流況特性を把握しておけば、時間的に大スケールを有する現象を良好に把握することができるからである。ここでは阿字ヶ浦で約8年間にわたって継続されている毎週1回の漂砂観測データのうち、特に波向と沿岸流流速の長期的変化特性を明らかにする。また1977年より開始され、現在までに7回実施されたリモートセンシングによる集中観測データと長期観測データとの比較を行い、両者の対応関係を明らかにする。

2. 波向と海浜流の長期観測

阿字ヶ浦では漂砂観測用棧橋を用いて、1975年6月26日より毎週1回漂砂観測が行われている。観測項目は多岐にわたるが、本論文では波向と沿岸流流速の経年変化について明らかにする。波向は海岸背後約300mに位置する高さ約30mの砂丘上に平板を固定し、磁化を定めたあとアリダードに水平に張った細い糸と波峰線とが重なるようにして波峰線の方角を定めて測定した。波峰線を測定する位置は棧橋先端より約100m付近とした。

図-1は波向観測の結果を示す。波向はE軸より反時計回り（EよりN軸方向）を正として整理されている。図の破線は5週間の移動平均を示す。波向の経年変化は前報⁹⁾でも示したが、前報と比較すると測定期間長が約2倍となり、季節的变化の特徴が顕著に現われている。

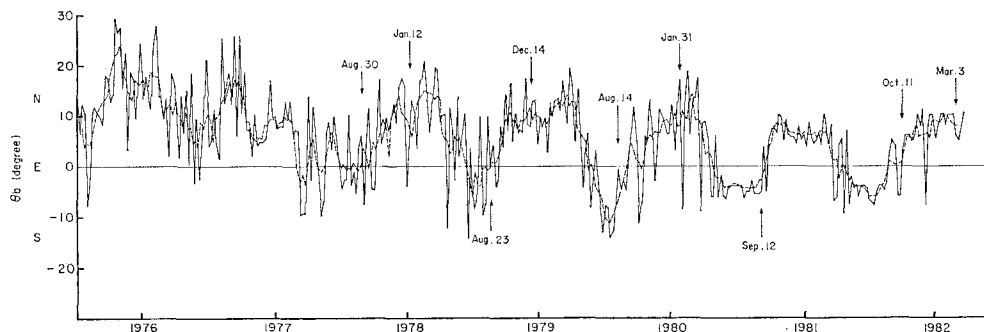


図-1 波向の経年変化（実線は測定値、破線は5週間の移動平均値を示す）

* 正会員 工博 建設省土木研究所海岸研究室長

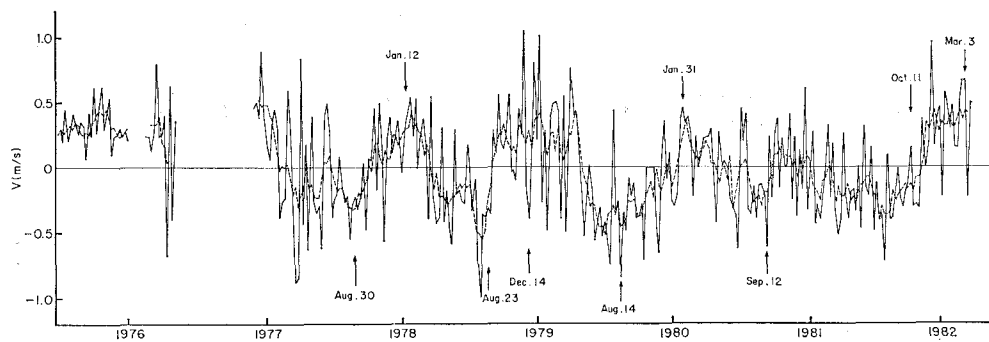


図-2 沿岸流流速の経年変化(実線は測定値, 破線は5週間の移動平均値を示す)

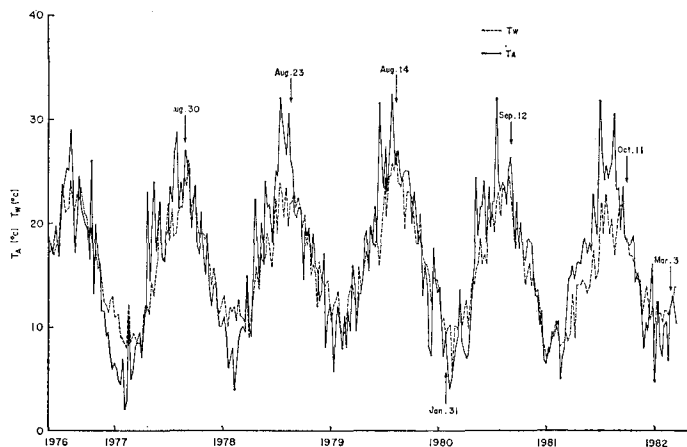


図-3 水温気温の経年変化

波向は約1年周期の変動が卓越し, 夏は南寄りの入射波が, また他の季節には北寄りの入射波が著しいことがわかる. なお図中の矢印は全体で7回行われた短期集中観測の観測日を示している.

図-2 は沿岸流流速の経年変化を示す. 沿岸流流速の測定は, 15mの長さのロープを付けたフロートを桟橋上より投入してロープが張るまでの時間を計測して測定した. ただし砕波帯の位置は地形, 波浪, 潮位条件によって変化するために, 観測時に砕波帯を4等分し, その内側3点で測定した. またこの測定はフロートが波に乗ることによる誤差があるために, 同一地点で3回測定を繰り返して行い, その平均値を平均流速と定めた. さらに3地点の平均流速を砕波帯の平均沿岸流流速と決めた. 図-2 では南向きの沿岸流流速が正の符号を有する. また破線は5週間の移動平均値を示す. 沿岸流流速は大きな変動を有するが, 1977年以降のデータについては約1年周期の季節的変化が顕著である. また図-1の波向変化と比較すると移動平均値は良好な対応関係を有しており, 夏, 南寄りの入射波となると北向き(負)の沿岸流が発達し, 他の季節には北寄りの入射波に対して南向き(正)の沿岸流が発達することがわかる. なお図中の矢印は短期集中観測の観測日を示している.

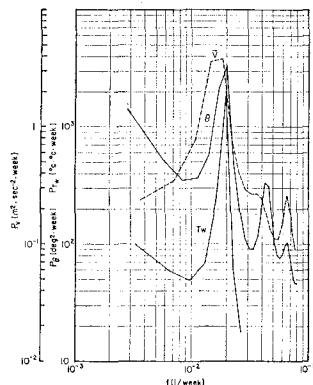


図-4 波向, 沿岸流流速, 水温のスペクトル

表-1 計算条件

	データ数	フィルター項数	計算時間間隔
波 向 (θ)	351 週	46 週	1 週
沿岸流流速 ($\bar{V}$)	274	41	1
水 温 (T_w)	305	43	1

図-3 は毎週1回桟橋近傍の汀線付近で測定された水温・気温の経年変化を示す. 水温, 気温は約1年周期の変動を有する. 図の矢印はリモートセンシングによる集中観測の測定日を表わしている. 水温, 気温の変化を示した理由は, 陸と海水の温度差を利用した熱拡散の調査を行うのに適した温度条件がどの程度存在しうるかを明らかにするためである. 図-3によると, 1978年と1981年の夏期において水温と気温の間に顕著な温度差が発生したことがわかる.

波向, 沿岸流流速, 水温, 気温の経年変化を明らかにしたが, これらの変動特性について検討するために, MEM 法⁹⁾によってスペクトルを求めた. 図-4 は波向(θ), 沿岸流流速($\bar{V}$: 5週間の移動平均値), 水温(T_w)のスペクトルを示す. 波向と水温については生のデータを用いて計算したが, 沿岸流流速については変動が大きいために5週間の移動平均値を用いて計算を行った. 水

温と波向は $f=0.02$ (1/week) に鋭いピークを有している。沿岸流流速は $f=0.018$ (1/week) で最大値が生じており、他の二者に比較すると最大値の生ずる周波数がわずかに低周波側へ移っている。なお、計算に用いたデータ数、フィルター項数、計算時間間隔は表-1にまとめられている。沿岸流流速は1976年に欠測があるために、1977年以降のデータのみ計算に用いた。

3. リモートセンシングによる短期集中観測

リモートセンシングによる観測は、図-5に示すように茨城県那珂湊市の阿字ヶ浦より日立港に至る延長13km、幅2kmの海域を対象として選んで行った。リモートセンシングによる観測は表-2にまとめられているように、1977年より1982年まで6年間の間に7回行われた。観測内容として、1977年、1978年には熱映像を、また1979年以降はMSSを用いた観測を行った。また1分間隔で航空機よりカラー写真の連続撮影を行い、海上に投入された多数のフロートを追跡することによって海浜流の流況測定を行った。これらは合計4回実施した。また1982年3月の観測では3個のフロートを投入し、その移動をトランシットによって追跡して海浜流の流況を測定した。観測は7回行われたが、観測結果については文献2)~7)にまとめられている。したがってここでは測定結果をできる限り重複を避けて記述する。短期観測は表-2にまとめられたとおりであるが、表-2には長期観測との対応を明らかにするために、短期観測日に最も近い長期観測日と、その日の波向および沿岸流流速の測定値が示されている。長期観測と短期観測の測定日のずれは最大で3日である。

(1) 第1回観測 (Aug. 30, 1977)²⁾

図-6は熱映像の撮影によって得られた発電所近傍における表面水温分布を示している。排水口から放出さ

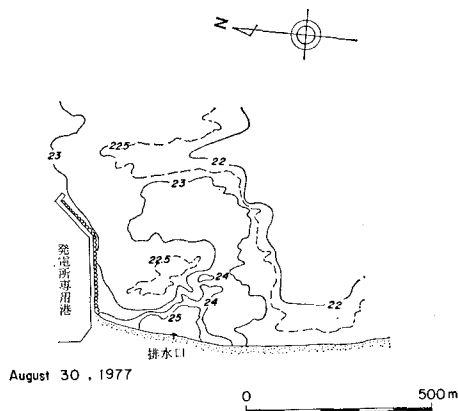


図-6 排水口付近の表面水温分布 (単位: °C)

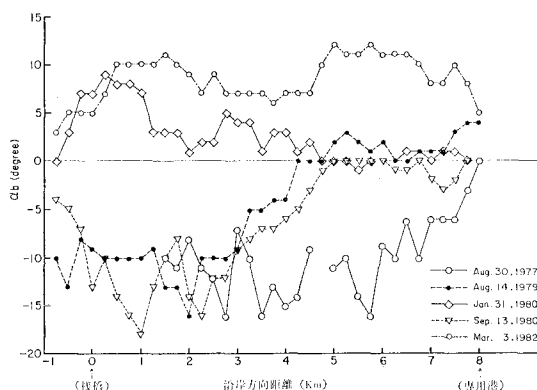


図-7 砕波点における入射角の沿岸方向分布

た高温の温排水は、発電所専用港の防波堤に沿って離岸方向へ流れていることがわかる。この理由を明らかにするためには、沿岸流の発達状況を調べる必要があるために、砕波点における入射角の沿岸方向分布を求めることにした。砕波点における入射角は、熱映像の波峰線模様より調べることができる²⁾。このため阿字ヶ浦の棧橋位置を座標原点とし、発電所専用港までの区間において、海岸線に沿って北向きに250m間隔で測線を設け、砕波点における入射角を読みとった。この場合汀線と直角方向に対し、反時計回りに入射するときの入射角を正と決める。この海岸線はほぼ南北に伸びているために、入射角は波が北寄りより入射するとき正の値を、逆に南寄りより入射するとき負の値を有する。

図-7は砕波点における入射角の分布を示す。この観測期間中、阿字ヶ浦では波高が低く、波峰線模様が顕著でなかったため、入射角の測定を行うことはできなかった。波向は棧橋北約1.5kmより専用港までの全域で負、すなわち南寄りの入射波であったことがわかる。したがって沿岸流として北向きの流れが発達し、この流れが専用港の防波堤に沿って離岸方向に流れたために図-6に示した水温分布が得られたものと考えられる。

表-2 リモートセンシングによる観測一覧表

番号	観測日	長期観測日	θ_b (長期)	θ_b (短期)	V (m/s)
1	Aug. 30, 1977	Sep. 1	6°	—	-0.23
2	Aug. 23, 1978	Aug. 24	-1°	2°	-0.31
3	Aug. 14, 1979	Aug. 16	-0.5°	0°	-0.85
4	Jan. 31, 1980	Jan. 31	17°	16°	0.46
5	Sep. 12, 1980	Sep. 8	-3°	-3°	-0.62
6	Oct. 11, 1981	Oct. 8	3°	—	0.15
7	Mar. 3, 1982	Mar. 4	6°	14°	0.66

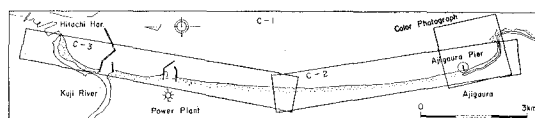


図-5 MSS およびカラー写真撮影のコース

一方、波向の長期的変化(図-2)によると、観測時の波向は同年の10月以降に比較して南からの入射が著しい。また沿岸流流速は図-3および表-2に示されるように北向きに0.23m/sという値を有する。したがって両観測データは良く対応していることがわかる。

(2) 第2回観測 (Aug. 23, 1978)^{3),4)}

この観測では海岸線において砂浜と海水の間で生ずる温度差が北向きの沿岸流によって拡散される状況が明らかになり、熱拡散の分布形より熱拡散係数が算定された。また海浜流の流況をカラー写真の連続撮影によって測定したが、これによると棧橋の北側の海域で最大流速が約0.5m/sという強い沿岸流が発生していたこと、また棧橋南側では沖合の水が時計回りの方向に回転しつつ岸方向へ流動していることが明らかになった。さらに砕波帯付近の波峰線の分布をカラー写真より読みとったが、砕波点付近の入射角は海岸線の法線に対して時計回りの方向に7°傾いていた。この観測時海岸線の法線はE9°Nの方向を有していた。よってE方向を基準とした入射角は $\theta_b=2^\circ$ となる。短期観測を行った時期、長期観測による波向は $\theta_b=-1^\circ$ であって、南寄りの入射が著しいが、この条件は短期観測によって得られた $\theta_b=2^\circ$ という南寄り入射と良く対応している。また沿岸流流速は図-2によると確かに北向きであり、0.31m/sという流速を有している。沿岸流流速についても比較的対応関係は良好なことがわかる。

(3) 第3回観測 (Aug. 14, 1979)⁵⁾

この観測では阿字ヶ浦～日立港間の水温分布や、阿字ヶ浦における海浜流の流況が測定された。またカラー写真によって波峰線図が求められた。観測結果によると、南寄りの入射波のため砕波帯内では北流が発達し、また阿字ヶ浦では南端を岬で囲まれているために、沖合水は時計回りに回転し、大規模な循環流が形成されていることがわかった。この場合の砕波点における入射角の沿岸方向分布は図-7に示されている。棧橋位置における入射角は $\alpha_b=-9^\circ$ であって、これは連続カラー写真から定められた波峰線分布より求められた値⁵⁾と一致している。さらにこの値にE方向を基準とした角では $\theta_b=0^\circ$ となる。一方、長期観測における波向は表-2によると $\theta_b=-0.5^\circ$ となっており、両者は良く一致することがわかる。また沿岸流流速は確かに北向きで $V=0.85\text{m/s}$ という値を有しており、沿岸流の向きは入射角分布、長期観測における波向値等と矛盾するものでないことがわかる。

(4) 第4回観測 (Jan. 31, 1981)

観測時、顕著な水温パターンは得られなかったが、MSSにより波峰線模様が測定された。これにより算出された砕波点における入射角の沿岸方向分布は図-7に示されている。沿岸方向の波向分布については既に2回

の観測で明らかにしたが、これら2回の観測との相違は、測定時期が夏より冬へ変化し、したがって卓越した入射方向が南寄りより北寄りへ変わったことである。図-7によると阿字ヶ浦では $\alpha_b=7^\circ$ となっており、これはE方向を基準とした入射角(θ_b)では、 $\theta_b=16^\circ$ となる。一方、長期観測の波向は表-2によると $\theta_b=17^\circ$ となっており、両者はほぼ一致している。

(5) 第5回観測 (Sep. 12, 1980)⁶⁾

この観測では水温分布図と阿字ヶ浦における海浜流の流況図が得られた。得られた流況特性としては、水深8m付近まで海浜のほぼ全域で北流が発達していた。これは第2, 3回観測時の流況と相違する。すなわち前回までの観測では阿字ヶ浦において沖合水が時計回りに回転して海浜循環流を形成していたのに対し、第5回観測では沖合水も北向きに流れていた。一方、カラー写真より平面的な波峰線形状を読みとることができたが、波は棧橋先端付近で海岸線の法線に対し $\alpha_b=-12^\circ$ で、またE方向の基準線に対して $\theta_b=-3^\circ$ の入射角で入射していた。沿岸方向の入射角分布は図-7に示されているが、これによると棧橋位置では $\alpha_b=-13^\circ$ となっていたことがわかる。これら両者の観測結果は測定日は1日ずれるがかなり良い対応を示す。

長期観測による波向は表-2によると $\theta_b=-5^\circ$ 、沿岸流流速は北向きに0.62m/sという値が得られている。一方、短期観測ではMSSによるもので $\theta_b=-4^\circ$ 、カラー写真によるもので $\theta_b=-3^\circ$ であって、三者はほぼ一致をみている。

(6) 第6回観測 (Oct. 11, 1981)⁶⁾

MSSによる観測では水温分布は得られたが、特徴的なパターンは顕著ではなかった。また波高が低かったため、画像における波峰線模様も微弱であって、沿岸方向の入射角分布も測定できなかった。以上の点よりここではその詳細については省略することにする。

(7) 第7回観測 (Mar. 3, 1982)⁷⁾

第7回観測はリモートセンシングによる最終観測である。観測ではフロート追跡によって、阿字ヶ浦における海浜流の流況が明らかにされた。流れの特性として南向きの沿岸流が発達し、磯崎漁港の前面海域で沖へ流出するという海浜流が得られた。またMSS画像より沿岸方向の入射角分布が求められた。入射角分布は図-7に示すとおりである。棧橋より専用港に至る全域において α_b は正、すなわち北寄りの入射条件であったことがわかる。このような入射角の場合沿岸流は南向きとなるが、この流れが岬によって阻止されると離岸流が生ずる。第7回観測で得られた流況はこのような機構によって生じた流れを表わしていると考えられる。

長期的変化に関しては表-2によると波向は $\theta_b=6^\circ$ となっている。一方、図-7によれば $\alpha_b=5^\circ$ である。

海岸線の法線が $E9^{\circ}N$ であったことを考慮すると、 $\theta_0 = 14^{\circ}$ となる。この値は長期観測で得られた $\theta_0 = 6^{\circ}$ と比較すると過大な値である。また沿岸流流速は表-2によると $V = 0.66 \text{ m/s}$ であって南流が発達していたが、この流れの方向はフロート追跡による流れの向きと一致する。

4. 考 察

MSS による水温観測は全体で 7 回行われた。これらのうち第 2, 3, 5 回観測では有効な情報を集めることができた。水温分布調査という見地からは、温排水などの人工的熱源が大きければそれだけ広範囲の情報を集めることができる。一方、上記観測で明らかにしたように、天然状態で発生する陸（砂浜）と海水の温度差による熱拡散の利用も有効である。しかしこの種の測定は夏にのみ顕著な例が測定され、他の時期には測定されなかった。この理由を図-3 の温度条件より調べてみる。図-3 によると、他の測定時には顕著ではないが、とくに 1978 年の 8 月 23 日の第 2 回観測時に水温、気温の間で 4°C という温度差が生じている。ちょうどこの日に沿岸流による熱拡散によって生じた楔形の等温線分布が得られたことを考慮すると、夏の水温と気温の差が著しいときにのみ上記のような観測が有効であることがわかる。

長期観測と短期観測データの比較に関しては、第 6 回観測を除いて沿岸方向の入射角分布、カラー写真による波向値、流況および長期観測による波向、沿岸流流速データが共に良い対応を有することが明らかにされた。阿字ヶ浦における波向および沿岸流流速は、約 1 年周期の変動が卓越する。短期観測はそれらの変動の代表時期を選んで行われたことになるが、短期観測データと長期観測データの対応関係は相当良好であることが示された。このことは重要な意味があると考えられる。長期観測は阿字ヶ浦の棧橋地点でのみ行われたものであって、時間的には長いスケールを有するが、場所的には狭い。一方、短期観測は場所的には大スケールの現象をとらえることができるが、時間的には極めて短く、いわば瞬間的なデータである。これら両者の結果が阿字ヶ浦地点で共に一致するということは、時間的空間的に大スケールを

持った現象を両者の観測結果が相当良好に代表していると考えられるからである。リモートセンシングによる観測は相当多くの費用がかかるために、高頻度で行うことは現実的ではないが、ここで述べたように代表地点における長期観測と組み合わせて行い、代表時期における広範囲の流況や波向分布を明らかにするのであれば、今後その有効性は益々高くなるものと考えられる。

5. あとがき

本研究では阿字ヶ浦で約 7 年間にわたって行われた毎週 1 回の漂砂観測データのうち、とくに波向、沿岸流流速の長期的変化特性とリモートセンシングによる短期観測の結果との比較を行った。この結果両者の対応関係は相当良好なことがわかった。波向と沿岸流流速については経時変化特性を明らかにするだけではなく、波高データとともに測定値間の直接的因果関係を調査することも可能であるが、ここでは短期観測との比較に重点を置いたためこのような検討は行わなかった。これらは今後検討を加えて行きたいと考えている。

参 考 文 献

- 1) 佐々木民雄・堀川清司・久保田進：海浜流に関する研究（第 5 報），第 24 回海講論文集，pp. 586~590, 1977.
- 2) 橋本 宏・宇多高明：リモートセンシングによる碎波帯の水温分布の測定，第 34 回年講演概要集，pp. 551~552, 1979.
- 3) 橋本 宏・宇多高明・田中邦一：熱映像による碎波帯の熱拡散係数の測定法，第 26 回海講論文集，pp. 119~123, 1979.
- 4) 宇多高明・橋本 宏：リモートセンシングによる海底地形、海浜流の同時観測，第 24 回水講論文集，pp. 215~220, 1980.
- 5) 橋本 宏・宇多高明・新行内利隆：リモートセンシングによる海浜流循環の観測，第 29 回海講論文集，pp. 351~355, 1982.
- 6) 橋本 宏・宇多高明・新行内利隆：海岸線付近における陸一海間の熱拡散の観測，第 37 回年講演概要集，pp. 339~340, 1982.
- 7) 宇多高明・竹淵 勉・橋本 宏：リモートセンシングによる海浜流と波向の観測，第 30 回海講論文集，pp. 475~479, 1983.
- 8) 橋本 宏・宇多高明：経験的固有関数による海浜地形変化の解析，土木学会論文報告集，第 305 号，pp. 59~71, 1981.
- 9) 日野幹雄：スペクトル解析，朝倉書店，300 p., 1977.