

# 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—

堀 川 清 司\*・佐々木 民 雄\*\*・福 井 直 治\*\*\*  
五十嵐 元\*\*\*\*・鬼 頭 平 三\*\*\*

## 1. 概 説

昨今、公害問題、海洋開発がマスコミにぎわしているが、そのいずれについてもわれわれ人類の知識は乏しい。

国民所得の向上、余暇時間の増大、都市環境の悪化等により、レクリエーションの欲求には爆発的なものがあるが、とりわけ屋外レクリエーション、中でも、水レクリエーションへの志向が強い。従来の産業経済中心社会にあっては、これらの国民の要求にこたえる健全な施設および、そのための科学技術の貧困が痛感される。

日本は周囲を海に囲まれ、海洋性レクリエーションのポテンシャルは大きい、レクリエーション施設を新たに建設する場合には、若干、自然条件に恵まれていない地域を考えねばならないことも多い。

海洋性レクリエーションの中でもっともポピュラーなのは海水浴であり、これはまた、もっとも自然条件の制約を受けるレクリエーションである<sup>1)</sup>。

毎年夏になると悲しい水の犠牲者が生ずる。これは犠牲者側に原因がある場合もあるが、海浜流、特に離岸流が原因となることが多いであろう。

砕波帯付近の波浪による海浜流は、このように海水浴客にとって危険であるばかりでなく、海岸漂砂の主要な外力であり、さらには岸近くの水質にとり重要な役割りを演ずる流れでもある<sup>2), 3)</sup> (図-1)。

従来、海浜流は、その構造の複雑さ、関与するパラメーターの数の多いこと、また、測定の困難さのために、1950年頃よりさしたる発展をみせていなかったが、最近、再び精力的な研究がなされつつある。

著者らは、まず、その現象を適確に把握することを第一に考え、写真測量により、神奈川県湘南海岸において海浜流の観測を試みたので、その概要を報告する。

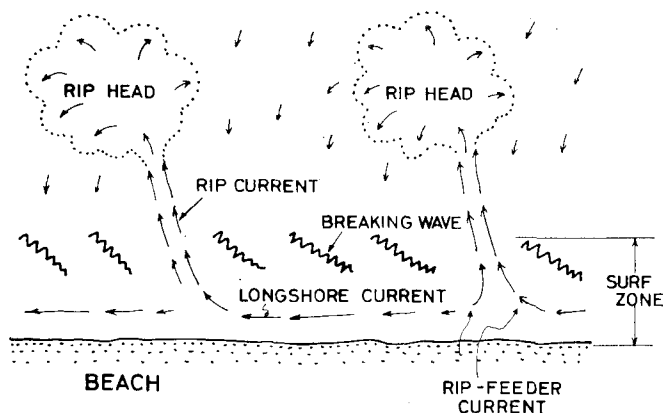


図-1 海浜流の模式図

## 2. 海浜流に関する従来の研究<sup>4), 5)</sup>

海浜流に関する最初の科学的研究は Shepard et. al. (1941)<sup>6)</sup> により行なわれた。第2次大戦の上陸作戦のために大規模な研究が行なわれ、その成果が Shepard・Inman (1950, 1951)<sup>7), 8)</sup> によりまとめられている。

以後、海浜流系としての研究はしばらく行なわれず、研究の努力はもっぱら漂砂に関連して沿岸流の流速を求めることに向けられたように見受けられる。

最近、Longuet-Higgins・Stewart (1964)<sup>9)</sup> による Radiation Stress を用いて、岸近くの水位上昇の研究が行なわれ (Bowen et. al., 1968)<sup>10)</sup>、さらに、沿岸流 (Longuet-Higgins, 1970)<sup>11)</sup>、(Bowen, 1969)<sup>12)</sup>、離岸流の研究も活発になり (Bowen, 1969)<sup>5)</sup>、水質の面からのアプローチとしての海浜流の研究 (Inman et. al., 1971)<sup>3)</sup> も行なわれるようになった。

沿岸流については Putnam et al. (1949)<sup>13)</sup>、Inman・Quinn (1952)<sup>14)</sup> 以来、大規模な研究が行なわれなかったが、以後の研究は、この資料をもとに数多く行なわれ<sup>15), 16)</sup>、最近になり、Galvin・Eagleson (1964)<sup>17)</sup>、Eagleson (1965)<sup>18)</sup>、Bowen (1969)<sup>12)</sup>、Longuet-Higgins (1970)<sup>11)</sup> らによって理論的、実験的研究が行なわれている。

以上の沿岸流に関する研究のほとんどは海底地形の単

\* 正 会 員 工博 東京大学教授 工学部土木工学科

\*\* 正 会 員 東京大学大学院工学系研究科

\*\*\* 学生会員 東京大学大学院工学系研究科

\*\*\*\* 正 会 員 東京大学研究員・(株) I.N.A. 新土木研究所

純な場合の、かつ、波高の比較的小さい場合の研究であり、波高がたとえば2~3 m 以上の場合の流れについては実測の例もほとんど皆無である。

海底地形の複雑な場合については、Bruun (1963)<sup>19)</sup>, Shadrin (1961)<sup>20)</sup> の研究がみられる程度である。

離岸流については、現地観測としてShepard et. al.<sup>6)</sup>, Shepard・Inman<sup>7), 8)</sup> の他に Mc Kenzie (1958)<sup>21)</sup>, Bowen・Inman (1969)<sup>22)</sup>, Inman et. al. (1971)<sup>23)</sup> により行なわれている。理論的な解析は比較的最近になってから Arthur (1962)<sup>24)</sup>, Bowen<sup>5)</sup> によって行なわれ、特に興味のもたれる離岸流の発生間隔の予測の式も提案されようとしている (Tait, 1971)<sup>24)</sup>。

海浜流の観点より、従来の研究を眺めると、ほとんどの研究は沿岸流速に関するものであり、しかも海底地形の単純な場合についてである。最近離岸流の研究が活発になり、沿岸環境の立場から海浜流系の研究が再びはじめられているが、今後は、海底地形の複雑な場合の流れおよび、時化時の流れについての研究が行なわれるべきであろう。

海浜流に影響する因子として、同時に観測する必要のあるのは、流速ベクトル場、碎波波高、碎波水深、周期、波の入射角、海底地形、離岸流の存在、底質などであり、非常に数が多い。この他に碎波のタイプ (Galvin, 1967)<sup>25)</sup>、若干の風、離岸流に対する水温の影響についても示唆されている (Shepard et. al.)。

以上の中で測定のみずかしいのが、流速ベクトル場と波向である。以上のようにパラメーターが多く、その測定がみずかしいのが、海浜流研究の主たる障碍ではなかったかと思われる。

このために、著者らは写真測量が、現状ではもっとも適した方法と考え、気球にモーター・ドライブ・カメラを吊して流れを連続撮影する方法と、2機のヘリコプターによってステレオ撮影を行なう方法との2つを試みた。

### 3. 「気球カメラ (BAC) ・システム」<sup>26), 27), 28)</sup>

気球にカメラを吊して観測を行なう方法を「気球カメラ・システム」と名づけ「BAC システム」と略すものとする。

この方法によれば、流速ベクトル場、波向、波長、碎波帯の幅などを同時観測することができる。著者らは70 mm マガジンをつけた Hasselbad 500 EL モーター・ドライブ・カメラ (写真-1) を卵型気球に吊し、リモート・コードで作動させた。気球は内容積 33 m<sup>3</sup> で水素ガスを充てんした。係留には、ポリエステルロープを1本用いた。このシステムでは100~150 m の高さに観測ステーションを設定できる。

フロートは一辺 25 cm と 33 cm の立方体を2種類作

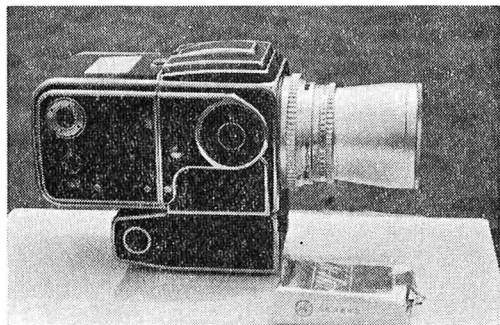


写真-1

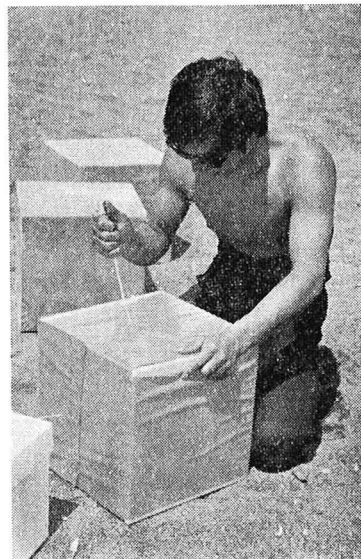


写真-2

成し、材料には発泡ポリウレタンを用いた。写真写りを考えてビニールで被覆した (写真-2)。このフロートは水中に8~9割没し、風の影響は少ない。

観測の際には、4~7人のフロート係りが碎波帯に入り、フロートを投入する。写真は数秒間隔で撮影し、現像した写真より、フロートの軌跡などを判読する。今回は偏歪修正などの処理は行っていない。

### 4. 「シンクロ・ヘリ (SIHEL) ・システム」

2機のヘリコプターを用いて同時シャッターを切り、ステレオ撮影を行なう方法を「シンクロ・ヘリ・システム」と名づけ、「SIHEL システム」と略すものとする。

SIHEL システムは BAC より撮影範囲を広くとることができ、さらにステレオ撮影であるため、波形および波高を測定できる点に主たる特色がある。現状では海浜流の観測方法として、もっともすぐれた方法といえよう (図-2)。

今回行なった SIHEL の概要を表-1 に示した。固定翼ではなく回転翼を用いたのは連続撮影に必要なホバ

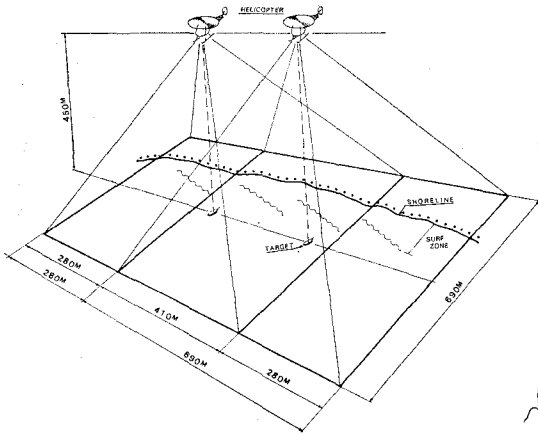


図-2 SIHEL システムの模式図

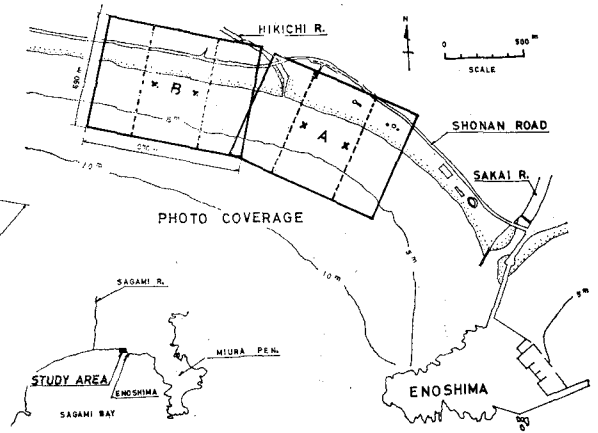


図-3 調査地域位置図

表-1 SIHEL システムの概要

|         |                      |
|---------|----------------------|
| ヘリコプター  | ベル KH-4, 2機          |
| カメラ     | ツアイス RMK 15/23       |
| フィルム    | コダック ネガカラー (ASA 200) |
| 写真縮尺    | 1/3,000              |
| 撮影高度    | 450 m                |
| 1回の撮影枚数 | 5 モデル×3 地点           |
| 撮影時間間隔  | 8 sec.               |

リング（空中停止）能力のためである。波浪の撮影のみであれば2機の固定翼機でも可能であるが、数秒間隔で同一地域を撮影し、流れを把握するためにはホバリング能力が不可欠である。

フィルムにカラーを用いたのは白く泡立った砕波帯内でフロートを識別するのに白黒では困難なためである。

## 5. 湘南海岸における海浜流の観測

湘南海岸は首都圏のみならず全国でも最もレクリエーション利用の高度な海岸であり、かつ自然海岸の状態にかなり保たれている。また、全国の海岸の例にもれず、海浜流の観測例はほとんど皆無である。

当海岸は相模湾の北岸に位置し（図-3）、年間300万人近い利用者がいるが、一昨年水質汚濁で問題となった

海岸である。江の島より相模川河口に至る約10kmの海岸は相模川を主たる供給源とする砂浜であり、漂砂の卓越方向は西向きといわれているが、年々供給土砂量の減少により全般的に侵蝕を受けている。

水深5mまでの平均海底勾配は約1/20であり、大陸棚辺縁まで約8kmである。江の島近くは島の存在により屈折などが著しい。潮流は最強で0.2Kt程度である。風は湘南港の記録では春にはNとS~SSWが、夏にはSSWとNが卓越している。波向については記録が十分整備されていないが、国立防災科学技術センター平塚支所の波向計の昭和43年の記録によれば5月はSE、6月はSSEが卓越していた。

海浜流の観測は昭和46年5月15日より7月5日に至る間に4回行なった（表-2）。このうち、6月24日はBACによるものである。この他にも離岸流の位置などをボール・フロートを用いての目視観測を2回行なった。

### (1) BAC システムによる観測結果

図-4にBACによる観測例を示した。場所は図-3中のA地区の中である。

波高が他のケースに比し、比較的小さく、周期が長か

表-2 観測日の気象・海象

| SIGN                |                               | SIHEL-515    |             | SIHEL-611   |            | BAC-624     | SIHEL-705  |            |
|---------------------|-------------------------------|--------------|-------------|-------------|------------|-------------|------------|------------|
| DATE                |                               | 1971. 5. 15  |             | 1971. 6. 11 |            | 1971. 6. 24 | 1971. 7. 5 |            |
| AREA                |                               | A            | B           | A           | B          | A           | A          | B          |
| TIME                |                               | 12 : 35      | 14 : 23     | 13 : 47     | 15 : 26    | 11 : 40     | 14 : 10    | 15 : 40    |
| WIND                | VELOCITY (m/sec)<br>DIRECTION | (8)<br>(NNE) | (8)<br>(NE) | 6.6<br>SW   | 4.3<br>SSW | 2.5<br>NNW  | 5.3<br>SSW | 6.3<br>SSW |
| WAVE (breaker)      | HEIGT (m)                     | 0.8          | 0.8         | 1.4~1.7     | 1.3~2.5    | 0.6         | (1.0)      | (1.0)      |
|                     | ANGLE (deg.)                  | 7            | 7           | 9           | 0          | 10          | 4          | 2          |
|                     | LENGTH (m)                    | 15~30        | 20          | 15~25       | 20~30      | 20~30       | 6~12       | 10~25      |
|                     | PERIOD (sec.)                 | —            | —           | —           | —          | 7.0         | (4~5)      |            |
| SURF ZONE WIDTH (m) |                               | 50           | 50          | 100         | 90         | 60          | 40         | 50         |

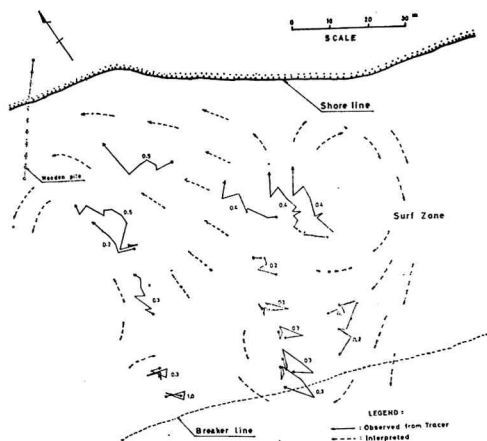


図-4 BAC システムによって観測した流況の例

ったので、かなりよく流れの状態をとらえることができた。沿岸流が発達するにつれ流れの幅をせばめ、加速されていく模様がわかる。砕波帯の幅はうねり性の波では入射波の変動につれ、一波一波でかなり変化するため、沖側のフロートは同一位置にあってでも砕波帯の内であったり、外に出たりする。また、かなり水平の循環が発達

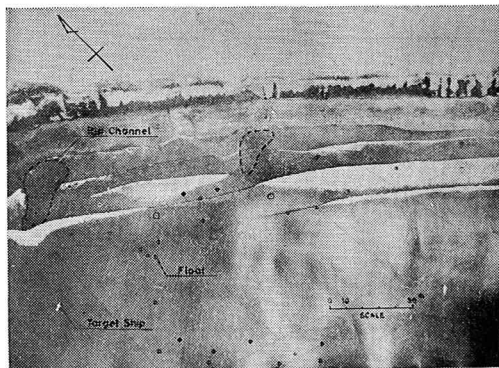


写真-3 SIHEL による航空写真(A地区)

しているものと思われる。

## (2) SIHEL システムによる観測結果

3 回行った観測のうち、5 月 15 日の観測では同時シャッターの故障のためステレオになっていない。この日は砕波波高が 0.5~0.8 m 程度で波形勾配が比較的小さく、峯の長い巻き波であった(写真-3)。A地区の流況(図-5)をみると、離岸流がよく発達している様子を見ることができる。砕波帯沖側では潮流と吹送流による海岸流がとらえられている。

図中の rip channel と rip head (離岸流頭) は写真より判読したものであるが、rip head はカラー写真においてのみ明瞭に識別できた。図中の矢印はフロートの軌跡であって、流速は矢印の長さに対応しているわけではない。

6 月 11 日は写真-4 に示すように典型的な風波であり、風は SW~SSW, 4~6 m/sec, 砕波波高は最高 2.5 m をこえ、貴重な資料を得ることができた。波が大きいと、人手でフロートを投入するため、フロートを砕波帯全域に分布させることができず、岸近くの流況のみ把握するに止った(図-6)。波高が大きいと砕波帯の幅が広くなり、風波の場合には流れは非常に複雑である。砕波帯沖へ流れたフロートもあるので、離岸流の存在は確実であるが、うねりの時ほど定常的ではなく、非常に把握が困難であった。

図-7 は図化した波形図の一例であるが、図の中心付近に平均水面の高い部分が三角形に広がっている様子を観察することができる。この高まりは沖合に比し 10~20 cm 程度である。砕波帯沖側が図化していないのは、天候が悪く小雨が時々降るような状況で露出が不足し、コントラストが十分でなかったためである。

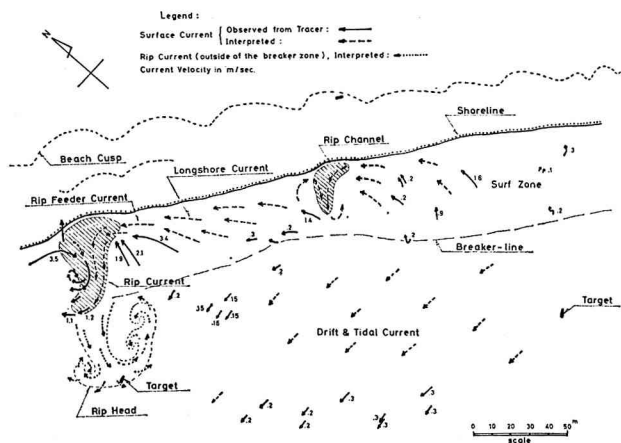


図-5 SIHEL システムによる流況の1例(A)

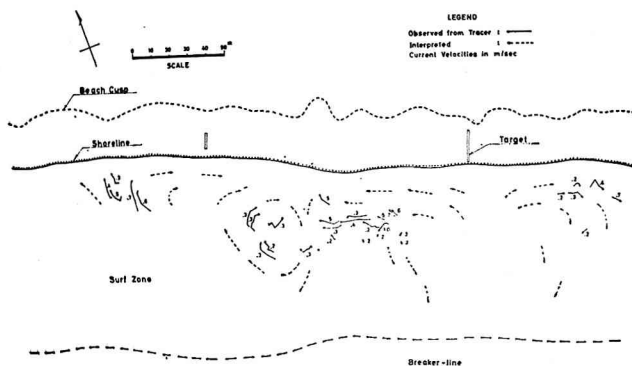


図-6 SIHEL システムによる流況の1例(B)

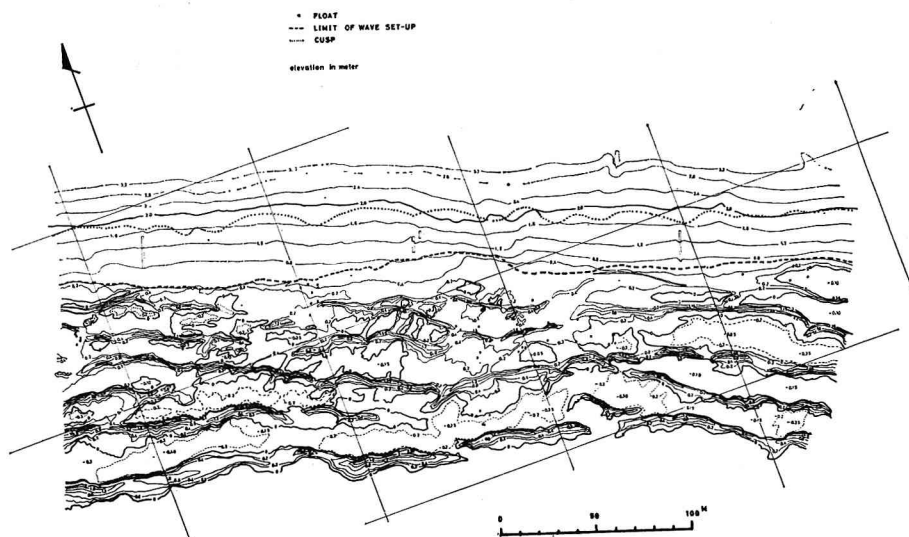


図-7 SIHEL システムによる波形の図の1例

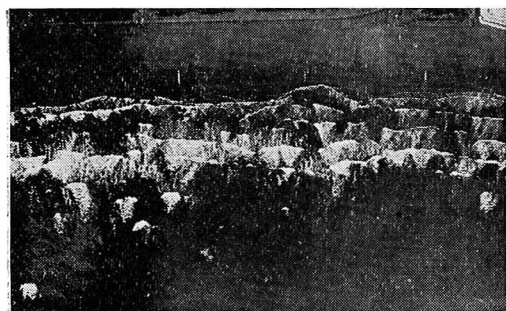


写真-4 SIHEL による航空写真 (B地区)

## 6. 海浜流の観測方法に関する考察

著者らは海浜流を観測する方法として、多くのパラメーターの同時観測に重点をおき、写真測量がそのために最適と考え、BAC および SIHEL の2つの空中観測ステーションを設けるシステムを試みた。まだ、現状ではデータが少なく、以上の方法について必ずしも十分な評価を与えることは容易ではないが、湘南海岸で行なった観測より得られた諸点について検討する。

まず、従来のボール・フロートをトランシットまたは平板で追跡する方法に比し BAC と SIHEL は流速を2次元ベクトル場として把握することが可能な点に最も大きな特色がある。また、冒頭に述べたように、波向、波形、波高などを同時観測できるのも特色であるが、現状では解決すべき問題も少なくない。

SIHEL はフロートの投入に今回8人要し、撮影に約10人、計20人近くの人員がいる。また写真測量が可能なヘリコプターを常時2機所有している企業がないので観測のスケジュールを立てる際、変わりやすい海象・気

象条件に対して柔軟に対応するのがむずかしい。

BAC については、今回の卵型気球は風速 7 m/sec 程度が限度のため、さらに風が強い時に行なうためには、風の揚力を利用するタイプの気球を要する。また、海浜流の単位規模を考えると 400 m 程度の視域が必要である。しかし、SIHEL に対して、BAC の最もすぐれた点は、その簡便さと経済性にあると思われる。

両システムに用いたフロートは表層流を観測するのみであるが、Bowen (1969)<sup>5)</sup> によれば2次元水槽でおこるような鉛直の循環は理論的に存在するだけで、現実にはほとんどの場合、水平の循環が卓越している。この点を考慮すると表層流を観測することにより、離岸流を除いて、海浜流を観測することができるわけである。ただし、今回のフロートは波高が1mをこすと碎波の際にフロートが完全に波の峯の中に入るので、この場合、段波によって移送される欠点がある。しかし、巻き波の場合にはさほど問題はないようである。

また、波高が大きいと、フロートの動きが早いので、SIHEL の場合は特にシャッターのタイミングに熟練を要する。

今回は流れの観測日近くの日海底地形の測量を行なっていないが、これは解析にとっては是非必要である。

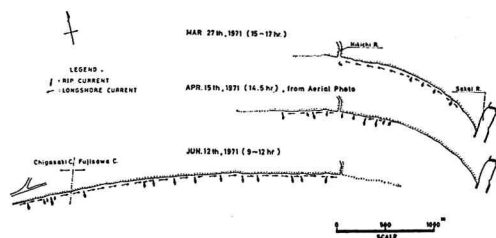


図-8 離岸流の発生状況

## 7. 湘南海岸の海浜流に関する考察

今回, BAC および SIHEL を行なった地区は, 小向(1957)<sup>29)</sup> によれば2段 bar の発達していた地区であり, 屈折図からも波の集中しやすい地区に当り, 現在遊泳禁止地区となっている。したがって, サーフィンには絶好の場所である。

ボール・フロートを用いて行なった目視観測結果と, 1/6,000 の航空写真より判読した当地区付近の離岸流の発生状態を図-8に示す。離岸流は日によりかなり異なるが, A, B両地区は昭和44年2月の海底地形<sup>30)</sup> をみても離岸流の発達しやすい地区と思われる。引地川と境川の間では, 引地川の両側の地区に比し, 離岸流の発生間隔は小さく, かつ, 比較的規則的のように見受けられる。A, B を分ける引地川の河川流は真直に海域へ流入せずに, 一度岸沿いに沿岸流とともに流れて, 近くの rip channel に入り, 離岸流と合流して沖へ出ることがある。これは江の島の橋のつけ根へ流入する境川についてもみられた。

調査期間中においては西向きの沿岸流が卓越することが多かったが, 風波の場合, 屈折により波向が汀線とほとんど直角に近くなり, その流速はさほど大きくないが, うねりの場合はかなりの流速となるように見受けられる。

なお, 本研究に際しては Louisiana State Univ. 鮮干教授, 中央大学 首藤教授, 建設省都市局 西沢専門官, 同河川局 豊島専門官, 神奈川県土木部河港課, 同湘南海岸整備事務所の諸氏, 東京大学研究生 寺沢 要君, 同研究補手 内田義雄君他港湾研究室の諸氏, 中央大学学生 平野永治君, 八並修三君, I.N.A. 新土木研究所 高居社長, 気球製作所 河野氏, T.I.A. 武井 武井社長, 国際航業および全日本空輸の諸氏より御助言, 御助力をいただいた。ここに記して深甚の謝意を表わす次第である。

### 参 考 文 献

- 1) 建設省東関東レクリエーション都市整備委員会, 海洋海浜チーム: レクリエーション都市整備に関する報告書(東関東地区), 1971-3.
- 2) Inman, D.L., R.J. Tait and C.E. Nordstrom: Mixing in the surf zone, J.G.R., Vol. 76, No. 15, 1971.
- 3) 東京大学工学部土木学科港湾研究室・(株) I.N.A. 新土木研究所: 神奈川県海岸侵蝕調査報告書, 1971-3.
- 4) 佐々木民雄: 沿岸流について, 日本海洋学会, 沿岸海洋研究ノート, Vol. 9, No. 1, 1971.
- 5) Bowen, A.J.: Rip Currents 1., J.G.R., Vol. 74, No. 3, 1969.
- 6) Shepard, F.P., K.O. Emery and E.C. La Fond: Rip currents: A process of geological importance, J. Geol., Vol. 49, No. 4, 1941.
- 7) Shepard, F.P., and D.L. Inman: Nearshore circulation related to bottom topography and wave refraction, Trans. A.G.U., Vol. 31, No. 4, 1950.
- 8) Shepard, F.P. and D.L. Inman: Nearshore circulation, Proc. 1st Conf. Coastal Eng., 1951.
- 9) Longuet-Higgins, M.S., and R.W. Stewart: Radiation stress in water waves, a physical discussion with applications, Deep-Sea Res., Vol. 11, No. 4, 1964.
- 10) Bowen, A.J., D.L. Inman and V.P. Simmons: Wave "set down" and set-up, J.G.R., Vol. 73, No. 8, 1968.
- 11) Longuet-Higgins, M.S.: Longshore currents generated by obliquely incident sea waves, parts 1 and 2., J.G.R., Vol. 75, 1970.
- 12) Bowen, A.J.: The generation of longshore currents on a plane beach, J. Mar. Res., Vol. 27, No. 2, 1969.
- 13) Putnam, J.A., W.H. Munk and M.A. Taylor: The prediction of longshore currents, Trans. A.G.U., Vol. 30, No. 3, 1949.
- 14) Inman, D.L. and W.H. Quinn: Currents in the surf zone, Proc. 2nd. Conf. Coastal Eng., 1951.
- 15) 堀川清司・佐々木民雄: 沿岸流速に関する二, 三の考察, 第15回海岸工学講演会講演集, 1968.
- 16) Galvin, C.J. Jr.: Longshore current velocity: A review of theory and data, Reviews of Geophysics, Vol. 5, No. 3, 1967.
- 17) Galvin, C.J. Jr. and P.S. Eagleson: Experimental study of longshore currents on a plane beach, Hydrodynamics Lab. Report, No. 63, M.I.T., 1964.
- 18) Eagleson, P.S.: Theoretical study of longshore currents on a plane beach, Hydrodynamics Lab. Report, No. 82, M.I.T., 1965.
- 19) Bruun, P.: Longshore currents and longshore troughs, J.G.R., Vol. 68, No. 4, 1963.
- 20) Шарин, И.Ф.: Вдольбереговые и Компенсационные течения у отлогого аккумулятивно берега, Академия Наук С.С.С.Р., 1961.
- 21) McKenzie, P.: Rip-current systems, J. Geol., Vol. 66, No. 2, 1958.
- 22) Bowen, A.J. and D.L. Inman: Rip currents 2., J.G.R., Vol. 74, No. 23, 1969.
- 23) Arthur, R.S.: A note on the dynamics of rip currents, J.G.R., Vol. 67, No. 7, 1962.
- 24) Tait, R.J.: The prediction of rip current spacing on long straight beaches, J.G.R., (in press), 1971.
- 25) 16) に同じ.
- 26) Sonu, C.J.: Tethered balloon for study of coastal dynamics, Proc. Symposium on Earth Observations from Balloons, American Soc. of Photogrammetry, 1969.
- 27) 堀川清司・佐々木民雄・五十嵐元・鬼頭平三: 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, 1971.
- 28) Whittlesey, J.H.: Tethered balloon for archaeological photos, Photogrammetric Eng., Vol. 36, No. 2, 1970.
- 29) 小向良七: 相模湾奥部の海底地形・底質分布について, 水路要報, No. 54, 1957.
- 30) 神奈川県土木部: 藤沢海岸付近深浅測量図(1/2,000), 昭和44年2月測量.