

超音波流速計による砕波帯における長期連続観測

土屋義人*・吉岡 洋**・棚橋輝彦***
仲井圭二****・森田行司****・磯部憲雄****

1. はじめに

海岸侵食対策に関して、高波浪時の海浜流、漂砂の動態を究明するため、砕波帯における波や流れの長期連続観測が実施されなければならない。新潟県大潟町の大潟海岸で、京都大学防災研究所大潟波浪観測所の波浪・漂砂観測用栈橋を利用して、波浪および漂砂の観測が行われてきたが、流れの観測はきびしい自然環境のために短期間のものをしか実施されていなかった(土屋ら, 1971; Tsuchiya ら, 1973)。われわれはすでに、超音波流速計を改良して、生物付着の影響が著しい沿岸海域である和歌山県田辺湾の白浜海洋観測塔において長期連続観測を実施して、長期安定性を実証した(土屋ら, 1982)。そこで、さらにきびしい環境である砕波帯に超音波流速計を設置し、砕波に伴う気泡や漂砂が引き起こすノイズの対策を改善して、平均流から砕波による乱れを含む広範囲の周波数帯の流れの長期連続観測を実施した。

2. 観測方法

2.1 観測システム

大潟波浪観測所の波浪・漂砂観測用栈橋において、超音波流速計(USC)を水深5mの海底に設置し、連続観測を実施している。海底は砂地であり、長さ5mのバイルを水中ジェットで打ち込んで、海底上1~1.5mの高さに流速計センサーを固定した。使用した流速計は海上電機(株)のRC型およびFC型である。RC型は、白浜海洋観測塔において潮流計として長期連続使用できることが確認されている。FC型は水平流が卓越する水域における乱れの3次元成分を計測する目的で、主として湖や河川および浅海域で短期間の集中的な観測に使用されてきたが、構造がRC型に較べて小型できゃしゃであり、砕波帯で長期間観測した例はなかった。現在、図-1のように3台のRC型が1986年11月から稼働している。沖側からNo. 1, No. 2, No. 3と呼ぶ。No. 1はRC-210A型で、水平二次元の流れと水圧を、No. 2とNo. 3

はRC-300型で三次元の流れを計測している。波による振動流が流速計のフレームにあたって乱れを生じ、平均流の測定に誤差を生ずるので、その影響を小さくするために、RC-300型は図-2に示したように、首を直角に曲げ、さらに45度回転させる格好で設置した。

出力信号は0.5秒サンプリングでA/D変換し、3時間ごとに10分間収録される短周期データと、120秒のローパスフィルターを通して1分サンプリングでA/D変換し、連続収録する平均流データに分けられる。RC型による連続計測と併行して、1988年3月の1週間および12月の1週間、FC型USC(FC-300)を栈橋のNo.

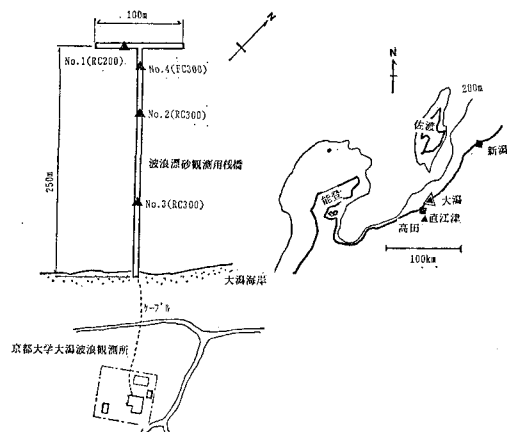


図-1 大潟波浪観測所波浪・漂砂観測用栈橋および超音波流速計設置場所

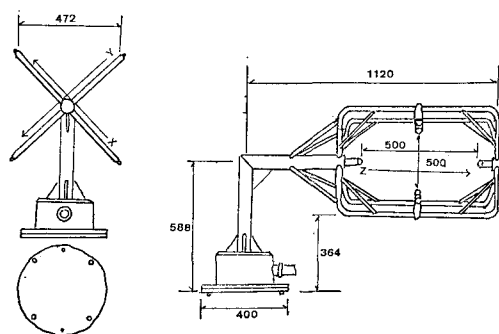


図-2 超音波流速計 RC-300 のプローブの改良

* 正会員 工博 京都大学教授 防災研究所

** 理博 京都大学助手 防災研究所

*** (財)日本気象協会 調査部

**** 海上電機(株) 第4技術部

4 地点 (図-1) に設置して、集中観測を実施した。集中観測では計測信号は 0.1~0.2 秒サンプリングで収録した。

2.2 ノイズ処理回路の改良

RC 型 USC には、ノイズ処理回路が組み込まれており、魚の侵入による瞬間的なノイズは、効果的に除去されている。しかし、大渦海岸に設置して計測を実施すると、碎波時には、気泡や漂砂の影響を受けて、超音波パルスが減衰し、本来のパルスより後続のパルスを受波したり、全く受信しない場合が起っていた。その結果ノイズが波の周期程度まで継続するために、これまでのノイズ処理回路では効果がなかった。ノイズの混入は短周期データを扱う限り、視覚的にパターンから識別できるが、ローパスフィルターを通した平均流を扱う場合、実際に発生した強流か、見かけ上のものかの判別が困難である。そこで、ノイズ処理回路を改良した。その詳細な説明は土屋ら(1989)に記載してあるのでここでは省略する。この改良は碎波にともなう超音波パルスの減衰によるノイズを完全に除去するものではないが、極端な異常値の混入を防ぎ、ローパスフィルターを通して平均流を求める際に、見かけ上の異常な流れを出力する危険性を除去した。

2.3 観測の障害とその対応

碎波帯における長期流速観測における困難な条件として、次のような要因が予想された。碎波帯では、高波浪と漂砂が卓越するので、(1) 波力による損傷、(2) 漂砂による測器の摩耗、(3) 漂砂や気泡によるノイズ混入、および (4) 漂砂による測器の埋没または架台周辺海底の洗掘があげられる。

RC 型による長期観測では、(1) および (2) は問題にはならなかった。ただし、FC-300 型の 1 台は高波浪時にプローブの枠が歪んで、計測不能となった。また、(3) については前節で考察した通りである。そして (4) は非常に深刻である。大渦波浪観測所では栈橋に沿って定期的に測深を行い、海底地形の変化を追跡している。RC-300 型流速計設置地点の水深変化を測深データから求めると、設置直後の冬期に沖側 (No. 2) では海底は 70 cm 上昇し、岸側 (No. 3) でも 40 cm 上昇した。二年目には沖側はさらに 30 cm 上昇し、岸側は 20 cm 上下している。三年目の現在、沖側はセンサーが砂に埋まっており、岸側も海底すれすれになっていると予想される。そのため、漂砂の影響を強く受け、また海底近傍では鉛直流がほとんどなく、せっかく 3 次元タイプの流速計を設置した有効性が小さい。

碎波帯は浅海域の一部であるため、(5) 生物付着や、(6) 浮遊物 (海藻、網、ビニール) の巻き付きも当然起る問題である。年に数回、ダイバーにかきおとしや浮遊

物の除去を頼んできたが、無造作なかきおとしはかえってプローブを傷つける危険性がある。年に 1~2 回、水中センサー部の防虫塗装を行ってきた。

3. 観測結果

3.1 海浜流の季節特性

本観測で平均流データとして計測された流れは、大渦海岸における海浜流である。No. 1 における海浜流の変化を図-3 に示す。これは冬期および夏期の代表として 1988 年 2 月と 7 月を選び、毎正時の 10 分間平均海浜流をベクトル表示したものである。また、同時期の高田測候所における風向風速を図-4 に示す。流向は海岸に平行な成分 (NE および SW) を横軸に、冲向きの方向 (NW) を縦軸に取ってある。風と海浜流とを比較する

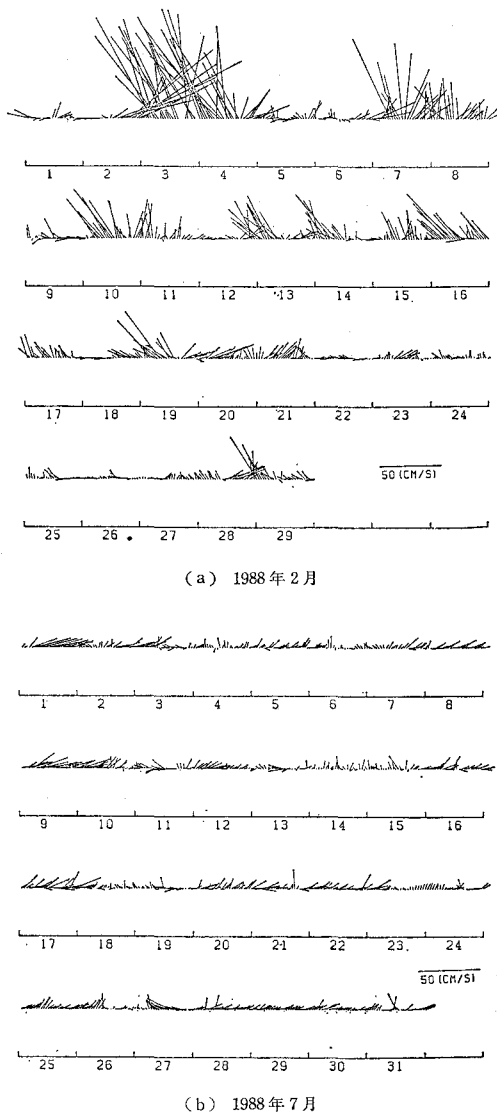
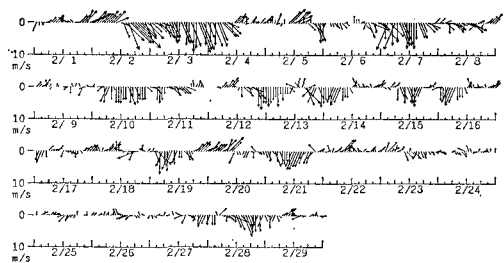
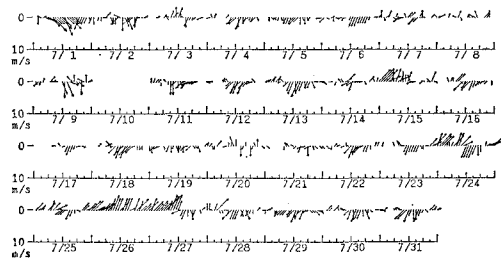


図-3 観測された海浜流の時間変化



(a) 1988年2月



(b) 1988年7月

図-4 高田の風の時間変化

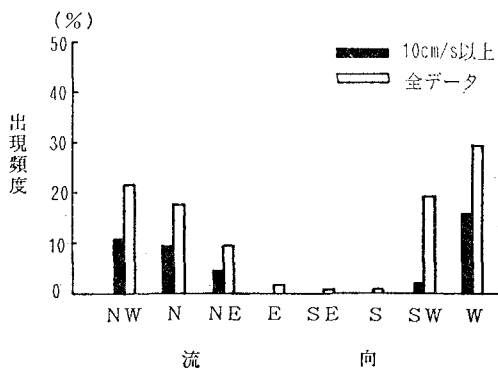
と、風に対応した流れが卓越していることが分かる。潮流はほとんど無い。

流向流速別に海浜流の出現頻度を調べ、その流向別分布を図-5に示す。沖に向かう流れ(W, NW, N)が2月に卓越しているが、7月は少ない。また、冬には30 cm/s以上の強流が1ヶ月で100時間程度で出現する。沿岸方向の10 cm/s以上の流れは1年を通じて新潟に向かう流れ(NE)が直江津に向かう流れ(SW)より卓越している。

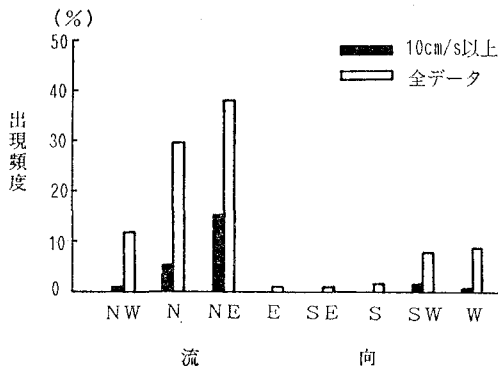
3.2 冬期の沖向きの強流

図-3に示す冬期高波浪時の強い沖向きの流れは、超音波流速計による連続観測によって初めてその存在が確認された現象である。沿岸方向に流れが一定な碎波帯では波の岸向き質量輸送(ストークスドリフト)とつり合うような沖向きの流れが存在する。その時、流速計でオイラー的に計測すると、ストークスドリフトは検出されず、沖向きの流れだけが捕らえられる。例えば現地のような水深5 mの地点において、波高2 m、周期10 sの波(波長67 m)が打ち寄せれば、平均して約14 cm/sの見かけの戻り流れが予想され、波高が4 mになると、見かけの沖向きの流れは50 cm/s以上になる。ところが、栈橋では有義波高約3 m以上の波は水深の影響で碎波して存在できないことが確認されている。観測された沖向きの強流は50 cm/s以上に達するので、みかけの流れとはいえない。

一方、1988年3月の集中観測において、浮子によるラグランジェ的な流れ計測を行った結果からも、沖方向に



冬: 1988年2月



夏: 1988年7月

図-5 大潟海岸における海浜流の流向別の発生頻度

強い流れが検出された。抵抗布式の浮子を栈橋から放流し、高さ200 mに上げた気球からその移動を写真撮影して流れを計測した。抵抗布と浮子をつないだ紐の長さを調節して、表層の流れと中層(海面下2 m)の流れを観測できるようにした。超音波流速計(No. 1)では西方向に50 cm/s以上の流れが観測されているとき、浮子は、図-6に示すように、表層も中層もほとんど同じ速度で(約50 cm/s)西方向に流下した。すなわち、オイラー的計測とラグランジェ的計測に著しい相違はなかった。

超音波流速計(RC-300)は海底に設置してあり、海底近傍の流れを計測していることになる。この沖向きの強流は、海底付近にのみ卓越するいわゆる戻り流れではないかと考え、1988年12月の集中観測では、2台の超音波流速計(FC-300)を水深5 mの地点で2台鉛直に並べて海底上1.5 mと2.5 mの深さで同時計測した。その結果、2層の流れの岸沖方向成分の差はほとんどみられなかった。前述したように水面下1 mおよび2 mの流れを浮子による方法で観測した結果においても、平均流の鉛直分布はほとんど存在しなかったことからすれば、沖向きの強流は鉛直方向にほぼ一様な分布をしていると予想される。

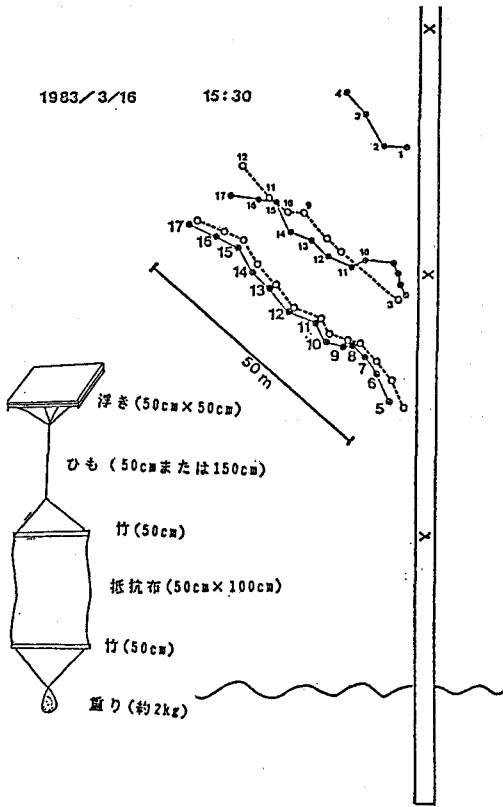


図-6 浮子によって観測された海浜流

3.3 海浜流と風の対応

強い海浜流の発生事例に着目し、流れの変化に対応して、風と波の変化を調べると明瞭な関係が明らかになった。冬期によくみられるタイプとして、図-7 に 1987 年 11 月 5~6 日の事例を示す。上段は高田測候所で測定された風向風速ベクトルを、また中段は栈橋の超音波流速計 (No. 1) によって観測された有義波高、周期および波向きを示す。さらに、下段が同流速計による平均流の流向流速ベクトルである。風向、波向き、流向ともにそれらの方向は岸に直角の沖方向 (NW) を上方にし、右が NE (→新潟)、左が SW (→直江津) として示してある。11 月 5 日の 12 時から 15 時にかけて西風の吹きだしが起ると、WNW 方向から周期の短い波が打ち寄せ、同時に NE 方向の沿岸流が発達する。しかし、風が衰えると、波向きおよび周期が変化して、NNW 方向からうねりが来襲し、それとともに平均流も向きを変え、沖向きの強い流れが起ったことがよくわかる。天気図を見ると低気圧が日本海を通過し、冬型の気圧配置になっている。

ただし、それとは異なる事例もいくつか見られた。最初に新潟に向かう沿岸流が出現せず、沖向きの流れだけがみられた事例では、最初に西風が吹かず、終始北西の風になっている。また、新潟に向かう沿岸流のみが出現し、沖向きの強流がみられない事例では、日本海を低気圧が通過後も西風の気圧配置となっていた。

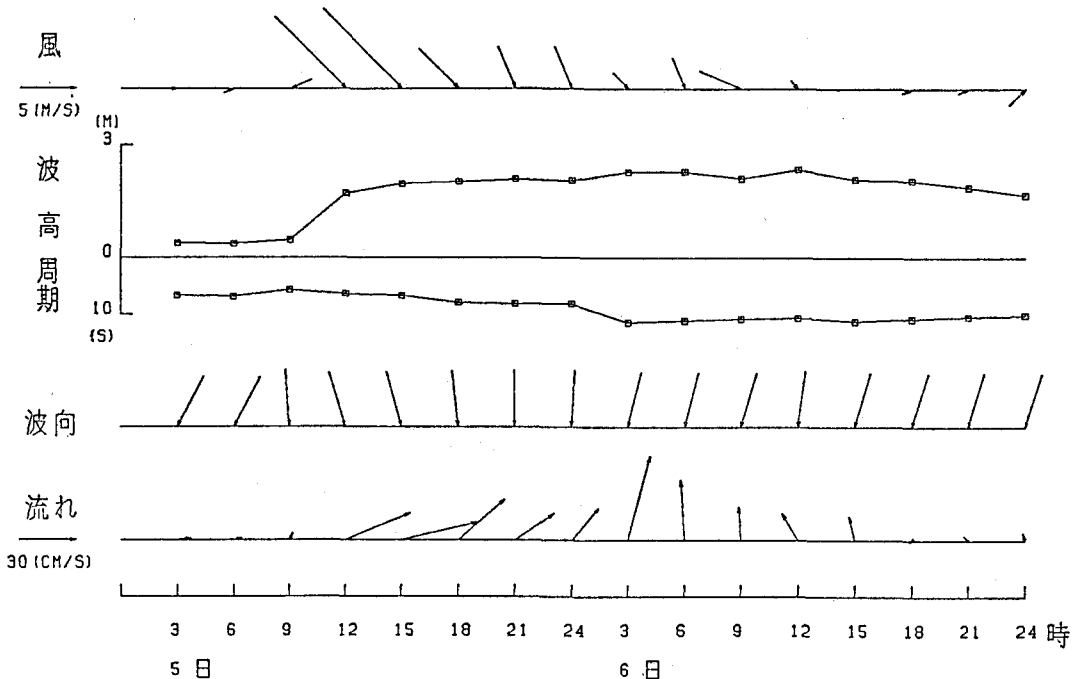


図-7 冬期における沖向きの強流と風、波浪との対応

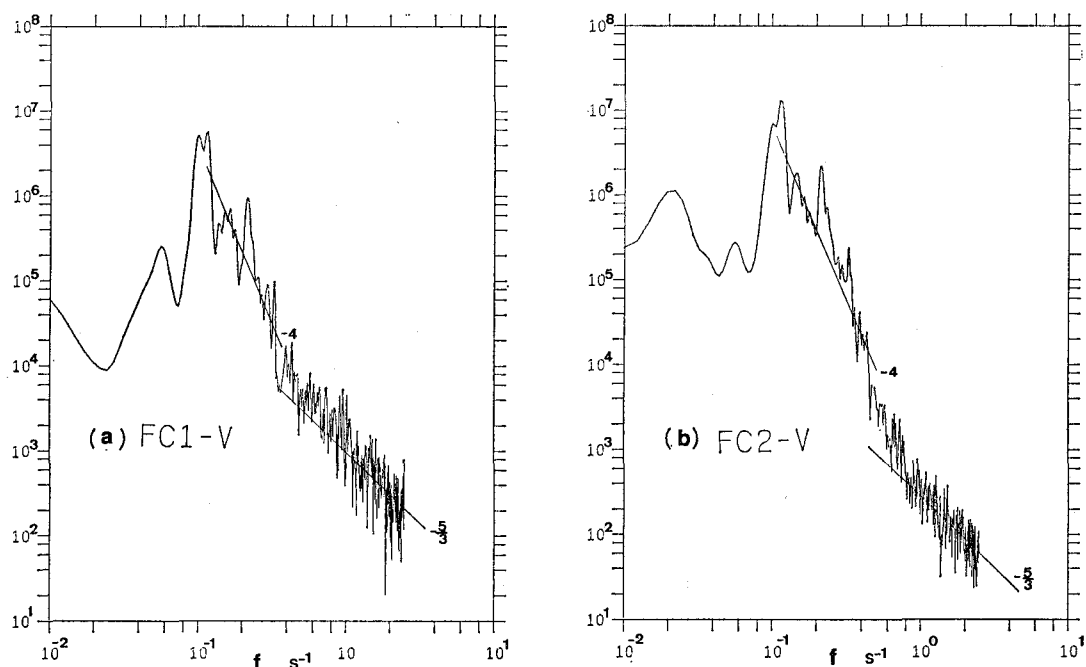


図-8 鉛直層の流れのスペクトル (a) 海底上 1.5 m, (b) 海底上 2.5 m

それらを総合すると、沖向きの強流の出現には、NNW方向からのうねりが必須であり、それは冬型気圧配置の時である。そして、典型的な冬型気圧配置は日本海低気圧の通過によって始まることが多い。季節を問わず低気圧の日本海通過は強い西風をもたらし、新潟に向かう沿岸流をつくり出す。そこで冬期には沿岸流の発達の後、沖向きの強流が卓越するが、夏期には沿岸流だけで終わることが多い。低気圧が本州南岸を通過して冬型気圧配置が強まれば、沿岸流ぬきで沖向きの強流が発達するのである。

3.4 波浪による水粒子運動および乱れ

前述した FC 型による鉛直 2 層同時観測のパワースペクトルを図-8 に示す。 $f=0.1$ のスペクトルピークから f^{-4} の勾配で高周波側にパワーが減少しているのは波による水粒子運動の特徴であるが、途中から $f^{-5/3}$ に勾配が変化しているのは 3 次元の乱れが高周波領域に存在していることをうかがわせる。しかも波浪成分は上層のほうが大きいのに、乱れ成分は下層の方が大きい。

4. 結 論

本研究では、砕波帯における海浜流から砕波による水粒子速度および乱れを含む広範囲の周波数帯の流れの長期連続観測ができる超音波流速計を開発し、京都大学大潟波浪観測所の波浪・漂砂観測用栈橋を用いて、通年の連続観測を実施した。その観測結果から、本流速計の適用性を明らかにするとともに、砕波帯の長期間における

流れの観測から、その動態の一部を明らかにすることができた。その主要な点は、1) 平均流の記録には潮流はほとんど現れず、風に関係した流れが卓越しており、2) 流れの変化に対応して、風と波浪の変化を調べると、明瞭な関係が存在し、3) 季節風の吹き出し時には、西寄りの強風や高波浪が襲来し、同時に東向きの沿岸流が発生するが、風が収まるか、あるいは風向が東寄りになると、うねりが襲来して、沖向き流れが卓越し、4) その沖向きの強流は鉛直方向にはほぼ様な分布をしている。

最後に長期連続観測システムを維持し、栈橋海底地形の資料を快く提供していただいた大潟波浪観測所の白井亨助教授および内山清枝官に厚くお礼を述べたい。

参 考 文 献

- 土屋義人・白井 亨・中村重久・山口正隆・芝野照夫・河田恵昭・吉岡 茂 (1971): 大潟海岸における海岸変形に関する観測 (1) — 1970 年冬季節風時の観測結果について —, 京都大学防災研究所年報, 第 14 号 B-2, 1971, pp. 465~485.
- 土屋義人・吉岡 洋・棚橋輝彦・市川雅史・土子良治 (1983): 超音波式流速計による長期潮流観測について, 第 30 回海岸工学講演会論文集, pp. 500~504.
- 土屋義人・吉岡洋・棚橋輝彦・仲井圭二・森田行司・磯部憲雄 (1989): 超音波流速計による砕波帯における長期連続観測, 京都大学防災研究所年報, 第 32 号 B-2, (印刷中).
- Tsuchiya, Y. and T. Shibano (1973): Observation of long-shore currents and sand drifting in storm conditions at Ogata coast, Coastal Eng. Japan, JSCE, Vol. 16, pp. 93~106.