

漁船の操業データを用いた沖合海底地形の変動解析について

Analysis of Offshore Bathymetric Changes Using GPS and Fishfinder Data

岡辺拓巳¹・青木伸一²・宇多高明³・芹沢真澄⁴・加藤 茂⁵

Takumi OKABE, Shin-ichi AOKI, Taka-aki UDA, Masumi SERIZAWA and Shigeru KATO

Bathymetric data in a wide coastal area were derived from frequent monitoring using fishfinder and GPS data logged during fishing operation in Enshu-nada Sea. The offshore bathymetric changes in near critical depth were evaluated by the annual changes of contour line positions along the cross-shore direction and these standard deviations. The analysis revealed long-term trend with short-term fluctuation in the sea bottom changes associate with the frequent monitoring data. We found that slow erosion appeared in the offshore area except around river mouth and inlet was indicated.

1. はじめに

漂砂系全体での総合的な土砂管理を長期にわたり継続するには、海浜や浅海域における土砂動態把握のための地形モニタリングが必要である。近年では、カメラ画像を用いた汀線の計測（藤原ら，2007；鈴木ら，2008）などの海浜地形の高頻度で継続的な観測手法が検討されている。一方、海底地形はナローマルチビームなどの深浅測量で計測されることが多いが（例えば，青島ら，2009；宇多ら，2008），コストの面から測深頻度が低く調査範囲も限られる。そこで著者らは，遠州灘で操業するシラス漁船に着目し，搭載されている魚群探知機の測深情報を記録，解析することで，低コストで高頻度・広域の海底地形を取得できる可能性を示した（岡辺ら，2008）。

長期にわたり高頻度に浅海域の地形を計測した事例は，汀線変化（鈴木・栗山，2008）やバーム形成（鈴木ら，2007）など，定点観測による地形変動が顕著な水深帯でのものが多い。一方で変化の少ない，水深およそ10m以深については，底質の移動限界水深を長期深浅データ（宇多，1990）や粒径（宇多ら，1997）から検討しているものの，地形を高頻度かつ広域に計測し，その変動を解析した既往研究は少ない。田中ら（1996）は現地観測から移動限界水深より深い沖合における大きな地形変化の可能性を指摘しており，沖合での土砂移動の把握は土砂管理や構造物設計などにとって重要な情報である。

本研究では，遠州灘沿岸において漁船の操業データにより広域・高頻度で取得した海底地形情報をを用い，沖合（移動限界水深付近）での等深線位置の変化を解析することで海底地形変動の特性を検討した。

2. 漁船の操業データの概要

(1) データ取得

シラス漁は遠州灘における主要な沿岸漁業であり（Nakataら，2000），数多くのシラス漁船が二艘引きで浅海域を操業している（図-1）。シラス漁船に搭載されてい



図-1 遠州灘沿岸で操業するシラス漁船

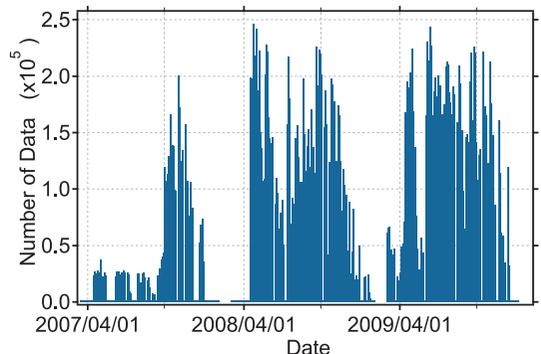


図-2 シラス漁船による測深データの取得数

1	修(工)	豊橋技術科学大学産学官連携研究員建築・都市システム学系
2	正会員	工博 豊橋技術科学大学教授建築・都市システム学系
3	正会員	工博 (財)土木研究センター常務理事なぎさ総合研究室長
4	正会員	海岸研究室(有)
5	正会員	博(工) 豊橋技術科学大学准教授建築・都市システム学系

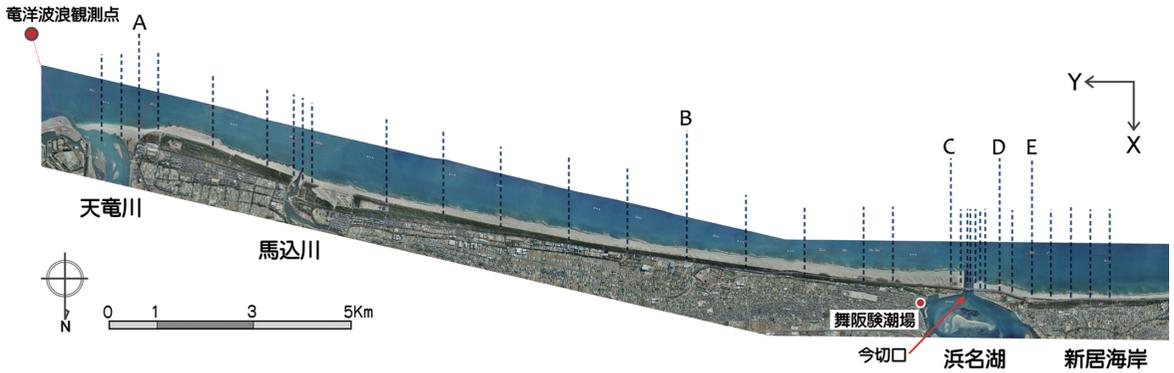


図-3 天竜川河口から新居海岸に至る遠州灘沿岸の航空写真と測線（点線）

る魚群探知機とGPSにデータロガー（畑中・和田，2006）を接続し、水深および位置情報を記録して定期的に回収することで操業時のデータを取得した。2007年4月よりロガーの搭載数を増やし、2008年秋からは15隻のシラス漁船よりデータを継続的に取得している。図-2に解析対象とした2007年4月～2009年12月の操業データ取得数を示す。漁船は冬期3ヶ月程度の休漁期や高波浪時、不漁時を除く春から冬にかけてほぼ毎日出漁する。好漁時には図-3に示す遠州灘沿岸を東西約50kmに渡り操業することから、広域かつ高頻度の測深データを取得できる。

(2) 漁船操業データによる海底地形の取得

取得した測深データは、気象庁舞阪験潮場の潮位データを用いてT.P.基準の水深へ換算するとともに、各漁船の喫水を補正した。この測深データについて、測線に沿って幅15mの範囲に記録された値を5～15日程度の期間でデータセットとしてまとめる。測線については、図-3に示す天竜川河口から新居海岸にかけて、東西方向0.5km～1.5km毎に計33測線を設定した。その後、岸沖方向の測深値をPlantら（2002）と同様にQuadratic Loessフィルタ（Cleveland，1979）を用いて平滑化やノイズ除去を行い海底地形の縦断面データを得た。ここで、Loess（Locally Weighted Scatterplot Smoothing）とは局所重み付け回帰関数を使用する平滑化手法である。

断面地形データの精度については、ナローマルチビーム方式による深淺測量の海底地形図と、同じ時期の漁船の操業解析データを、天竜川河口における複数の測線で比較した。図-4は平滑化前後の魚群探知機の測深値と深淺測量の縦断面図および測深誤差を示したものである。ここで測深誤差は、深淺測量の結果を真値とした場合の漁船による縦断面データとの差である。平滑化の影響によって岸側と沖側のデータ末端付近では誤差が大きくなるものの、断面形状はほぼ一致している。比較した全測線において、測深誤差のRMS値は0.2m以下であった。

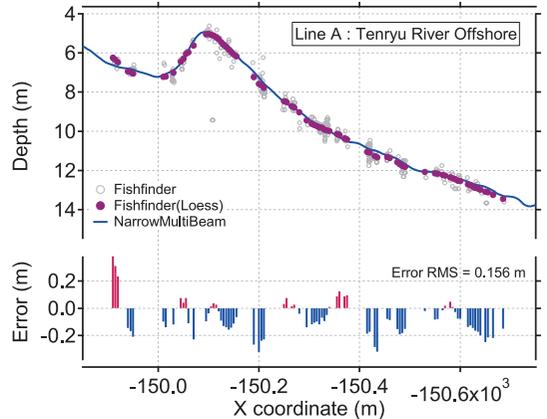


図-4 漁船操業データを用いた海底断面と高精度深淺測量による海底地形図の比較（測線A）

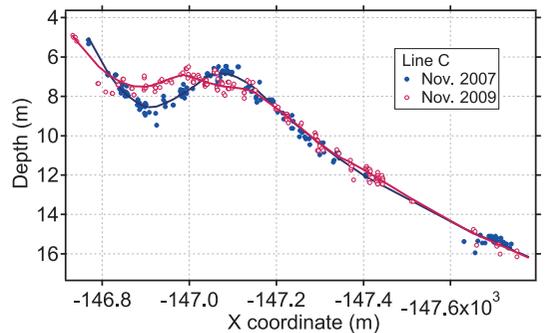


図-5 測深データを解析して求めた岸沖方向の断面地形（測線Cにおける2007年と2009年の比較）

図-5は測線Cにおける2007年と2009年に取得した断面地形である。アウターバーの岸方向への移動やトラフの埋没に伴う地形変化が捉えられている。シラス漁船は水深3～4mで操業することもあり、地形変化の顕著な浅海域の測深データを取得することもできる。

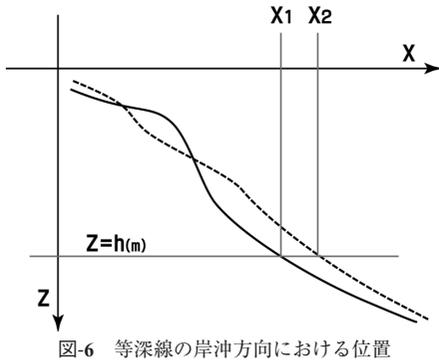


図-6 等深線の岸沖方向における位置

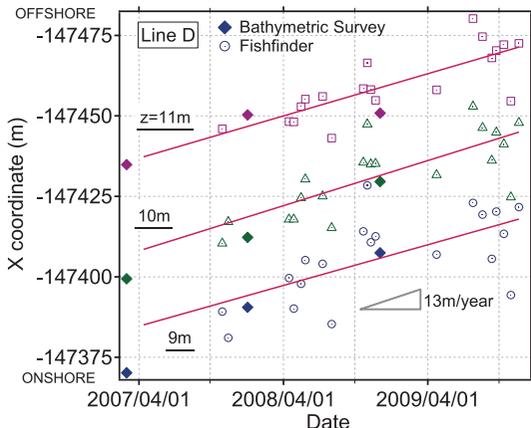


図-7 等深線の岸沖位置の経時変化 (測線D)

3. 沖合海底地形の変動解析

(1) 時間変化に関する考察

漁船操業データを用いた海底縦断面から、図-6のように水深9m, 10m, 11mの岸沖方向の位置を抽出して沖合海底地形の変動を検討した。図-7は浜名湖今切口(インレット)の西側0.6kmを縦断する測線Dにおける、水深9~11mの等深線位置の経時変化を、その近似直線とともに示したものである。図中には静岡県による定期深淺測量(1回/年)の結果から求めた等深線位置(◆印)も示した。このインレット沖合は浜名湖からの退潮流の作用を強く受けることから、河口テラスが沖向きに発達していることが宇多ら(2007)によって指摘されている。漁船データによる断面データでは、年間およそ13mの速度で沖向きに等深線位置が張り出しており、河口テラスが発達中であることを捉えている。さらに、漁船データの等深線位置とその移動量が定期深淺測量の結果とほぼ一致していることから、海底地形変化のトレンドを漁船操業データで追跡できると考えられる。また、長期間のトレンドに加えて等深線位置の短期間での変動も見られる。定期深淺測量は調査の時間間隔が大きい、本研究

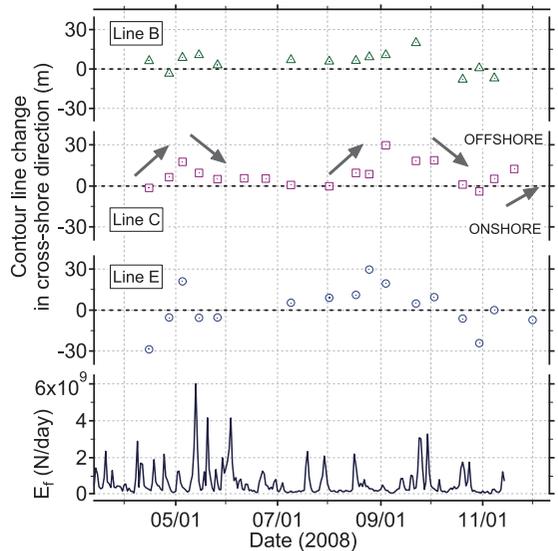


図-8 等深線位置(水深10m)の岸沖変動と沖波エネルギーフラックスの経時変化

の手法では高頻度の海底地形の断面データを取得でき、短い時間スケールの地形変化も捉えられる。

短期の海底地形変化の外力として高波浪が考えられる。そこで図-3に示した竜洋海岸波浪観測点(沖合距離2000m, 水深40m)で観測された毎時の有義波高および有義波周期を用いて式(1)により沖波エネルギーフラックス E_f を算出し、その1日の平均値 \bar{E}_f から日毎の E_f を求めた。

$$E_f = \frac{1}{8} \rho g (H_{1/3})^2 C_g \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 ρ は海水密度、 g は重力加速度、 $H_{1/3}$ は有義波高、 C_g は有義波周期より求めた群速度である。

図-8は沖波エネルギーフラックス E_f と、対象沿岸の中間地点(測線B)および浜名湖インレットの東西(測線C, E)における水深10mの岸沖位置の変動について経時変化を示したものである。等深線位置はその平均値を基準にプロットしている。図より、等深線の沖への移動と E_f の小さい期間(2008年4月, 8月, 11月)、岸向きの変動と E_f の大きい期間(同年5月, 10月)がほぼ対応している。他の期間では、 E_f と等深線位置の変動が明確に対応しない場合もあり、例えば季節変動のような数ヶ月の変化を議論するためには3年間の情報では不十分であることから、更なるデータの蓄積が必要である。しかし、海象変化や季節変動のような時間スケールでの沖合の地形変化を捉えるには、高頻度の地形モニタリングを継続する必要があることから、漁船操業データを用いた地形計測が有用と考えられる。

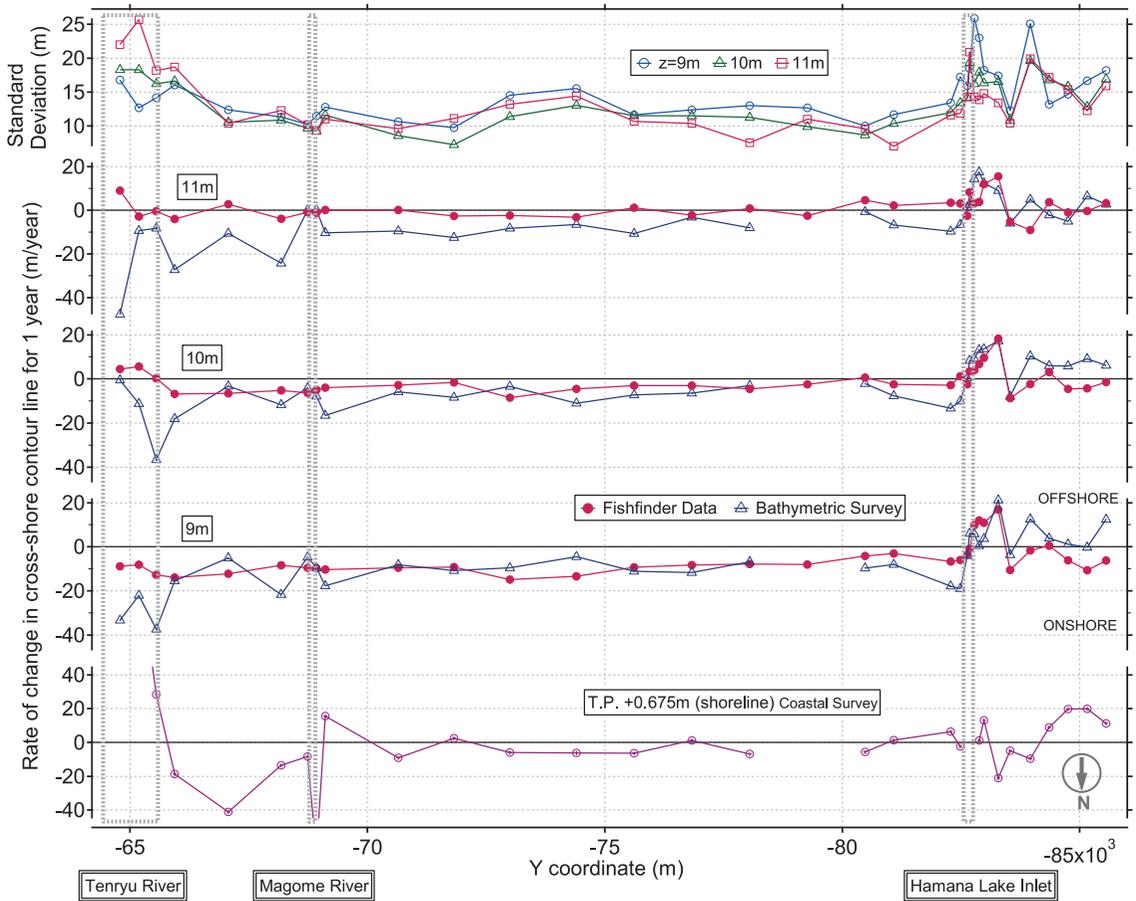


図-9 遠州灘沿岸における等深線と汀線の年間変動量と標準偏差 (2007~2009年)

(2) 広域沿岸における変動量に関する考察

図-9は測線全体における等深線位置の岸沖変動の標準偏差と、1年あたりの移動量について示したものである。等深線の移動量については、2007~2009年の操業データと定期深浅測量の、水深9~11mの岸沖変動に対する直線近似の傾きから求めた1年間の変動量である。また、汀線変動との関係を検証するため、定期深浅測量による断面と、舞阪験潮場の2007~2008年の潮位観測値より求めた朔望平均満潮位 (T.P. +0.675m) との交点を汀線位置と定義し、その変化量を等深線と同様に算出して示した。

等深線の位置変動の標準偏差は、天竜川河口や浜名湖インレットの導流堤周辺で値が大きくなっている。河口流や構造物など、漂砂への影響がみられる場所での活発な地形変化を示している。また、移動限界水深付近の水深11mでも海底地形は変化していることがわかる。

等深線位置の年間変動量について、天竜川河口における定期深浅測量による移動量はいずれの水深も30mを越

えるが、漁船操業データによる変動幅はそれよりも小さく、移動方向も逆になる水深もある。この要因の一つとして、地形変化の大きな場所でトレンドを求めるためのデータ数(測量頻度)の違いが考えられる。汀線位置が大きく前進しているのは、河口砂州の変動によるものである。天竜川河口以西から浜名湖インレットに至る海岸では、水深9mおよび10mの等深線が岸向きに移動しており、沖合が緩やかに侵食されつつあることがわかる。また、定期深浅測量とほぼ同程度の値となった。一方で水深11mの等深線については、漁船操業データによる解析では等深線がほぼ変化しないのに対し、定期深浅測量では年間10m程度岸向きに移動している。汀線位置は岸向きへ移動しており、海域から陸域にかけて一様な侵食傾向にあると考えられ、岸沖漂砂のみで沖合の海底地形と海浜変形を対応させることは困難である。また、インレット付近では河口テラスの沖向きへの発達をいずれの水深でも捉えていることに加え、定期深浅測量による値とも良く一致している。

4. 結論

本研究では、遠州灘沿岸で操業するシラス漁船の測深および位置情報を収集することで広域の海底断面地形を高頻度に取得した。さらに、その断面データを用いて底質移動限界水深に近い沖合での海底地形の変動特性について検討した。以下に得られた知見を示す。

- 1) 遠州灘沿岸のシラス漁船の操業データ (位置, 水深) を潮位と喫水で補正して平滑化することで, 海底縦断面の地形データを広域・高頻度に取得した。高精度深淺測量との精度比較では, 測深差がRMS値で0.2m以下となった。
- 2) 漁船操業情報による海底縦断データより, 水深9~10mの等深線の岸沖位置を算出することで, 沖合海底地形の変化を検討した。浜名湖インレット沖合に広がる河口テラスの発達速度を深淺測量と同様に捉えていることから, 漁船操業データを用いて海底地形変化のトレンドが観測できることがわかった。
- 3) 短期的な海底地形の変化については, 波浪エネルギーの変動に対応する等深線の移動が確認されたが, 明確な対応を示さない場合もあった。高波浪や季節変動の時間スケールで議論するためには更にデータを蓄積する必要がある。
- 4) 等深線の岸沖方向の移動量から標準偏差と年間変化量を求め, 広域沿岸での空間分布について検討した。標準偏差は河口やインレット周辺など, 地形変化の顕著な海岸を把握することができる。また, 移動限界水深付近と考えられる水深11mの海底地形も明確な変化を示した。年間変化量からは, 対象とした遠州灘沿岸の水深が深くなる傾向にあり, 汀線も侵食傾向にあることがわかった。しかし, 汀線変化と沖合の海底地形変化との明確な対応は見られなかった。

課題としては, 冬季や水深4~5m以浅でのデータ取得が挙げられる。また, 精度が確保された深淺測量は, 漁船操業データの精度チェックや補間データとして大切であるなど, 他の計測手法との組み合わせが不可欠である。しかし, シラス漁船の操業データによる海底地形モニタリングは, 数ヶ月~年間隔で行われる定期深淺測量では把握できない短期的な地形変動を, 広域の沿岸で取得できる。また, 漁業という地場産業を活用した手法であるとともに, 魚群探知機など既設の機器を利用することで, 継続性と費用対効果の面からも有用なモニタリング手法であると考えられる。

謝辞: 本研究は文部科学省科学技術振興調整費重要課題解決型研究「先端技術を用いた動的土砂管理と沿岸防災」

(代表者, 青木伸一: 豊橋技術科学大学) の研究の一環として行ったものである。また, 浜名漁業協同組合には, データロガーの設置やシラス漁船のデータ取得にご協力いただいた。天竜川河口海域のマルチビーム深淺測量データは国土交通省浜松河川国道事務所から, 天竜川河口以西の断面測量データ, 航空写真および竜洋海岸波浪観測点の波浪データは静岡県からご提供いただいた。ここに記して関係諸氏に謝意を表します。

参考文献

- 青島元次・鮫島 強・吉岡 敦・宇多高明・三波俊郎・石川仁憲 (2009): Narrow multi beam測量データを用いた湘南海岸の土砂量の長期的変化, 土木学会論文集B2 (海岸工学), Vol. B2-65, No.1, pp.656-660.
- 宇多高明 (1990): 波による移動限界水深を定める代表波の選定法, 海岸工学論文集, 第37巻, pp.294-298.
- 宇多高明・小菅 晋・芹沢真澄・三波俊郎・古池 鋼 (1997): d_{50} の水深分布から波による地形変化の限界水深を推定する方法, 海岸工学論文集, 第44巻, pp.521-525.
- 宇多高明・芹沢真澄・三波俊郎・古池 鋼・石川仁憲 (2007): 波と河口流の作用下での大規模河口沖テラスの形成予測モデル, 海岸工学論文集, 第54巻, pp.406-410.
- 宇多高明・田代洋一・長山英樹 (2008): ナローマルチビーム測量による沖合養浜時の土砂移動観測, 海岸工学論文集, 第55巻, pp.776-780.
- 岡辺拓巳・青木伸一・河村雅彦 (2008): シラス漁船を利用した広域・高頻度海底地形図の作成とその応用に関する研究, 海岸工学論文集, 第55巻, pp.661-665.
- 鈴木高二朗・有路隆一・諸星一信・柳島慎一・高橋重雄・松坂省一・鈴木信昭 (2008): WEBカメラを用いた海岸の連続観測手法の開発について, 海岸工学論文集, 第55巻, pp.1446-1450.
- 鈴木崇之・竹内麻衣子・友田尚貴・山口里実・栗山善昭 (2007): バーム形成時および侵食時における漂砂量分布特性, 海岸工学論文集, 第54巻, pp.486-490.
- 鈴木崇之・栗山善昭 (2008): 汀線位置の長期変動に対する汀線変化量と波浪エネルギーおよび沿岸流速との関係, 土木学会論文集B, Vol.64, No.4, pp.280-290.
- 田中茂信・佐藤慎司・川岸真一・石川俊之・山本吉道 (1996): 石川海岸の沖合における漂砂機構, 海岸工学論文集, 第43巻, pp.551-555.
- 畑中勝守・和田雅昭 (2006): 漁船を活用した海底地形情報取得システムのデータ解析に関する考察, 海岸工学論文集, 第53巻, pp.1386-1390.
- 藤原 要・的場孝文・熊谷隆則・藤田裕士・堀口敬洋・佐々木崇雄・高木利光 (2007): カメラ観測システムを用いた宮崎海岸の土砂移動機構調査, 海岸工学論文集, 第54巻, pp.671-675.
- Cleveland, W.S. (1979): Robust Locally Weighted Regression and Smoothing Scatterplots, Journal of the American Statistical Association, Vol. 74, pp.829-836.
- Nakata, H, S. Funakoshi and M. Nakamura (2000): Alternating dominance of postlarval sardine and anchovy caught by coastal fishery in relation to the Kuroshio meander in the Enshu-nada Sea, Fisheries Oceanography, Vol. 9, 3, pp.248-258.
- Plant, N.G., K.T. Holland and J.A. Puleo (2002): Analysis of the scale of errors in nearshore bathymetric data, Marine Geology, 191, pp.71-86.