

WEB カメラを用いた海岸の連続観測手法の開発について

Development of Coastal Observation System using WEB Camera

鈴木高二朗¹・有路隆一²・諸星一信³・柳島慎一⁴・高橋重雄⁵・松坂省一⁶・鈴木信昭⁷

Kojiro SUZUKI, Ryuichi ARIJI, Kazunobu MOROHOSHI, Shinichi YANAGISHIMA
Shigeo TAKAHASHI, Syoichi MATSUZAKI, and Nobuaki SUZUKI

In order to install the coastal camera observation system economically, a coastal observation system using WEB camera is newly developed. This system covers wide area, controlling the camera's pan, tilt and zoom periodically. Image processing like time exposure is also applied to observe surf zones. Using this system, we conducted long term continuous observation on tidal flats, river front and surf zone. Web camera is also controlled by many people on real time and sometimes it is difficult to obtain periodical images. In order to complement loss images, a shore line estimation method using ABIC (Akaike's Bayesian information criterion) is considered. This method estimates the trend of shoreline erosion of Hasaki beach in the autumn of 2006.

1. はじめに

ビデオを用いた砂浜の観測手法は、米国で開発されて以降 (Lippmann・Holman, 1989), 急速に発展し, 世界各地の海岸の連続観測に用いられている。我が国でも徐々にビデオ画像を用いた観測が実施されるようになってきている。砂浜の観測だけでなく, 赤潮や青潮の観測, 河口フロントの動態などの観測にも利用されるであろう。

しかし, ビデオ観測は数百万円以上の初期費用を要するなどの問題があり, 実際にはなかなか普及していない。初期費用が高額となる理由としては, ①広い範囲を撮影するには複数の固定カメラを用いる必要がある, ②実際には遠隔地からカメラの映像を取得, 保存するため, PC や通信機器などを用いる必要がある, そのためのハウジングも別途必要であるといった点があげられる。しかし, 近年開発が急速に進んだパン, チルト, ズームが可能な WEB カメラの登場により, ①, ②のような問題が解決される可能性が出てきた。

一方, 最近では一般の観光客への広報やサーファーへの波情報の提供のためにカメラが海岸に多数設置されて

きている (例えば, NTT 西日本-南九州 (2008-3-31参照))。ただし, このようなカメラはリアルタイム映像を取得するのが目的であるため, 画像が保存されていない。これらの映像をアーカイブとして保存することができれば, これまでほとんど得られなかった我が国沿岸の連続的な防災・環境情報を, 得ることが可能になる。

そこで本研究では, WEB カメラによる安価な新観測システムを開発し, 現地への適用性を検討することとした。

2. WEB カメラによる連続観測システム

(1) WEB カメラの特徴

ここでは, キヤノン製 WEB カメラ VB-C50iR (表-1) を用いた。本カメラはリアルタイムな映像をインターネット経由で見られるだけでなく, カメラのパン, チルト, ズームも操作できる。映像は VGA (640×480画素) で保存することができ, 回線状況にあわせて小さくすることも可能である。さらに, キヤノン株式会社より開発用ソフトウェア (WebView Livescope SDK) が提供されており, これを用いることで様々なカメラの自動制御ができる。本研究では, この SDK を用い, 定時刻にカメラ

1 正 会 員	工 修	(独法)港湾空港技術研究所海洋・水工部
2 正 会 員		(独法)港湾空港技術研究所海洋・水工部 元国交省横浜港湾空港技術調査事務所
3 正 会 員	工 修	国交省横浜港湾空港技術調査事務所長
4 正 会 員		(独法)港湾空港技術研究所海洋・水工部
5 フェロー	工 博	(独法)港湾空港技術研究所海洋・水工部
6		国交省鹿島港湾・空港整備事務所 元国交省横浜港湾空港技術調査事務所
7	工 修	国交省横浜港湾空港技術調査事務所 調査課長

表-1 使用した WEB カメラの主な仕様

製品名	Canon VB-C50iR
大きさ(mm)	W136×D130×H110
映像信号	NTSC 方式準拠
撮像素子	1/4 型 CCD (34 万画素)
パン角度範囲	±170° (角速度 1~90°/秒)
チルト角度範囲	-90° ~+10° (1~70°/秒)
ズーム	35mm 換算: 45~1170mm

にアクセスしてカメラを制御し、映像を遠隔で取得している。さらに、波の大きな砂浜の観測で用いるための平均画像等の画像処理も同時に実施できるようにしている。なお、当カメラは世界各地で使用されており、我が国でも地方自治体等により数10箇所の海岸に設置されている。

(2) 2種類の観測法 (市民共用型と観測専用型)

a) 市民共用型

WEBカメラはインターネットを介して一般の市民が自由にパン、チルト、ズームを変えられることができる。そのため市民共用型システムでは、市民の閲覧を優先し、閲覧されていないタイミングでカメラを制御できるようにした。図-1, 2はその模式図と制御の手順である。

b) 観測専用型

波が大きく1波1波の波で汀線位置が大きく変化する海岸では、数分以上の画像の平均画像から、平均的な汀線変化を求める必要がある。そのため、観測専用型システムでは一般市民からのカメラ制御を禁止し、さらに平均画像を得るためのPCを図-1のように併設した。

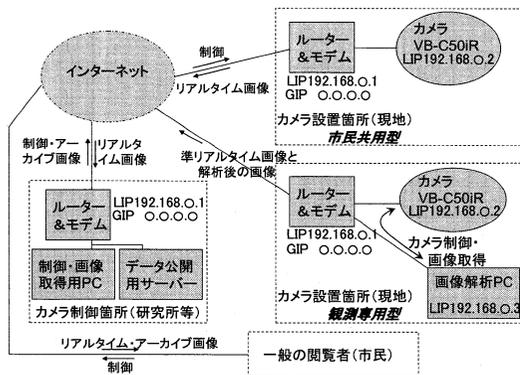


図-3 観測システムの模式図 (LIPはローカルIPアドレス GIPはグローバルIPアドレスの略)

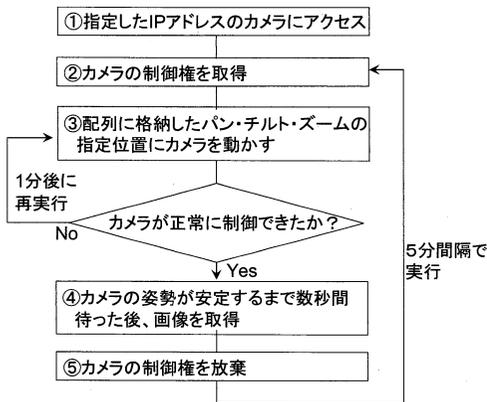


図-2 カメラ制御の手順

3. 長期連続観測の実施例

(1) 観測地点と特徴

開発したシステムを表-2に示す複数の箇所に設置して長期連続観測を実施し、その適用性を調べた。波崎のシステムのみが観測専用型であり、その他の地点はインターネットを介して市民が操作できるようになっている。表-2のカメラAでは、羽田D滑走路の建設現場閲覧のため、工事関係者の他、多数の市民がカメラを利用している。1時間に12箇所を撮影しているが、図-2の操作により欠測率は約4%と少なかった。また、三番瀬海浜公園のカメラも利用頻度が高かった。

(2) 羽田多摩川の河口フロント

多摩川では河口部にD滑走路の棧橋が建設される。そのため、河口部での環境に少なからず影響があるのではないかと考えられている。しかし、これまでは河口フロントの位置も明確ではなかったことから、図-3のようにカメラを設置して連続的な河口フロントの位置や動きを調べることにした。

多摩川河口では観測開始以降、図-4のような河口フロントが頻繁に捉えられており、特に大きな動きが見られたのは2007年9月6~7日に来襲した台風9号による河口フロントである。ここでは、河口に設置された観測槽の塩分水温データと比較することとした。

図-5は、画像から見られたフロントの位置と多摩川河口の観測槽で計測された表層の塩分水温とを比較したも

表-2 長期連続観測の実施場所とシステムの概要

カメラ	場所	観測対象	開始日	preset	
A	多摩川 三愛石油	河口フロント, D滑走路工事	市民共用	06/5/8	12
B	多摩川 花王工場	干潟、浅場 の変化	"	06/9/4	"
C	多摩川 羽田水門	"	"	07/7/20	"
D	三番瀬	干潟の変化	"	06/12/21	6
E	波崎海岸	砂浜の変化	観測専用	06/8/16	5



図-3 多摩川河口に設置されたカメラと観測槽の位置

のである。観測櫓のデータは9月7日のデータが無いので、9月8日からのグラフを描いている。9月6～7日に来襲した台風9号による多摩川からの大量出水により、9月8日は塩分が10PSUまで減少している。9月11日にも降水があり、14日頃まで塩分が15PSUより小さくなっている。また、塩分は潮位が高くなると大きくなる傾向にあり、5～10PSUほど急変している。

一方、このときの画像は以下のとおりだった。

9/6：出水による濁りが見られない。9/7：多摩川からの濁水が全体を覆い、フロントは見えなかった。9/8：朝はフロントは湾側にあったが、潮位が高くなるにつれて徐々に多摩川側に移動し、11時半頃に観測櫓を通過して、観測櫓周辺は濁りの少ない水塊で覆われるようになった。このとき、塩分は11.9から21.6PSUまで大きく変化した。9/9：再び濁水が全体を覆い、フロントは見えなかった。9/10：潮位の上昇にともない、12時半頃に観測櫓をフロントが通過した。9/11：欠測、9/12～13日にかけては、大量出水にともない、多摩川からの濁水が全体を覆い、フロントは見えなかった。塩分もほとんど15PSU以下となっている。9/14～16：9/8、10日と同じく、図-6のような明瞭なフロントが観測される。いずれも、上げ潮にともなって、フロントが多摩川側へ移動しているのが観察された。16日頃になると出水量が小さくなったためか、フロントは観測櫓よりも常に多摩川側に見られた。

このように、大量出水によってフロントが沖合へ移動し、潮汐によって往復することは当然ではあるものの、時々刻々の変化を連続的に捉えた例は少なかった。航空写真などで撮影される例は多いが、撮影頻度は少ない。

ビデオ観測は、砂浜の観測だけでなく、このような河口フロントの観測にも今後、活用される可能性が高い。なお、多摩川河口では、羽田D滑走路の建設が進められており、進捗状況のアーカイブとしても利用されている。また、工事エリアでは工事船舶以外は侵入禁止で観測することができず、唯一の環境観測データともなっている。

(3) 多摩川の河口干潟と浅場

多摩川河口には、上記河口フロントのほかに、干潟や浅場が広がっており、滑走路建設による変化を長期的に調べている。

図-7は、花王川崎工場屋上から撮影した多摩川の干潟・浅場である。5分おきに所定の12箇所を撮影する仕組み



図-4 多摩川河口フロント (2006年10月7日14:00)

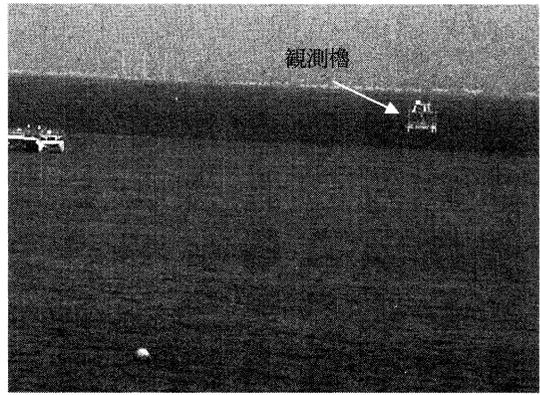


図-6 河口フロントと観測櫓 (2007年9月14日15:30)

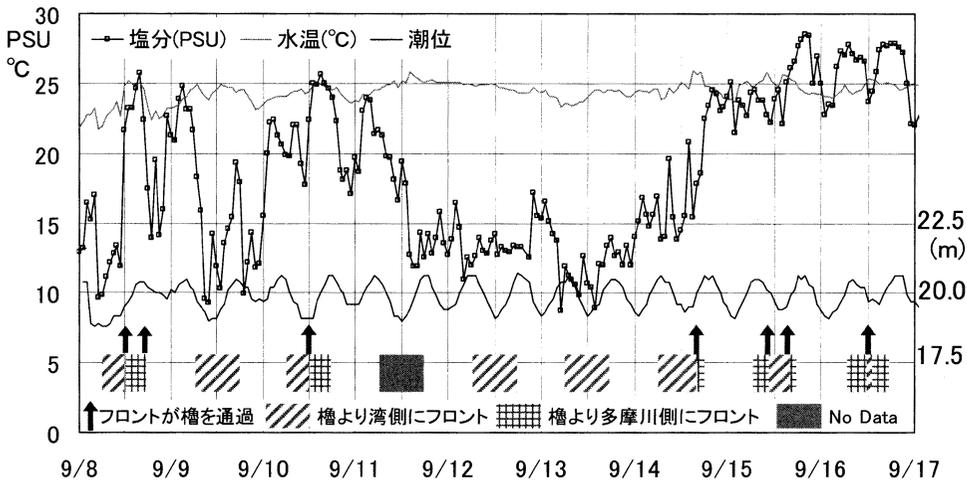


図-5 多摩川河口観測櫓による表層塩分・水温、潮位とビデオ観測データの比較

になっている。まず、広角に6箇所を撮影することで、多摩川の広い範囲を捉えている(a)。(b)、(d)は(a)と同じ画像であり、画像を拡大したもので、VGAであるため詳細な地形が撮影されていることが分かる。(c)、(e)はさらに、光学ズームの倍率を上げて6箇所を別途撮影したものである。24倍光学ズームの特性を生かすことで、より詳細な干潟の地形を捉えることができる。

これまでの観測で、干潟は、①波の荒い海岸と比較すると、波の影響を受けにくいので、平均画像を取らずにスナップショットだけでも地形を把握できること、②冠出する時間は4~5時間しかなく、最も広く冠出するのは1時間程度しかない。そのため、少なくとも1時間間隔で撮影しなければ、干潟の全体像を撮影できないこと、③10月~1月は日中に干潮となることが少ないため、この時期は多くの干潟・浅場の地形情報が得られないこと、などが分かってきた。

なお、現在は12箇所の撮影を行っているが、上記①の干潟の性質から、1分より短い間隔で撮影するのであれば、1時間に60箇所以上の撮影を行うことも可能である。

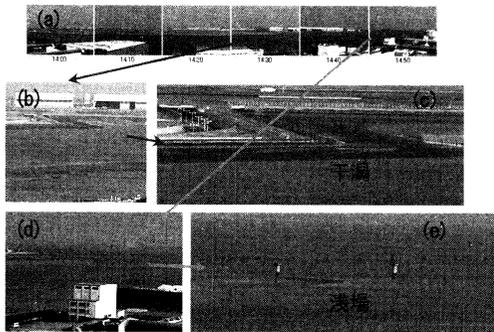


図-7 花王川崎工場からの撮影状況(2007年3月23日)

4. 間欠画像からの汀線位置の長期変化の抽出

(1) ABICを用いた汀線変化のトレンドの推定について

ビデオ画像による観測では夜間の情報が無いこと、さらに市民共用型の観測システムでは、画像の欠測が発生する可能性があるため、汀線位置の長期変化など、有益な情報を取り出すことが困難となる可能性がある。

そこで欠測の多い画像から、波による変化や潮汐の変化を除いた長期的な汀線のトレンドを抽出するため、式(2)のような評価関数 J を設け、「ABIC(赤池のベイズ型情報量基準)」を用いた解析(石黒ら, 1984)を検討した。

$$u_n = \sum_{m=1}^M (a_{2m-1} \cos \omega_m t_n + a_{2m} \sin \omega_m t_n) \quad \text{潮位成分}$$

$$+ \sum_{k=0}^{K2} bss_k SS_{n-k} + \sum_{k=0}^{K3} bwa_k WA_{n-k} + d_n + \varepsilon_n \quad (1)$$

潮位偏差成分 波高成分 トレンド 誤差

$$J = \sum_{n=1}^N \left\{ u_n - \sum_{m=1}^M (a_{2m-1} \cos \omega_m t_n + a_{2m} \sin \omega_m t_n) - \sum_{k=0}^{K2} bss_k SS_{n-k} - \sum_{k=0}^{K3} bwa_k WA_{n-k} - d_n \right\}^2 + \nu^2 \sum_{k=1}^K \{d_k - 2d_{k-1} + d_{k-2}\}^2 \quad (2)$$

上式中、 u_n は画像から得られた汀線の位置、 ω_m は各分潮の角速度、 SS は潮位偏差、 WA は波高、 d_n は潮位偏差や波高成分を取り除いたトレンド成分、 ε_n は誤差成分である。 a_{2m-1} 、 a_{2m} は調和定数、 bss 、 bwa はそれぞれ潮位偏差、波高成分の定数である。ここで、 ν は超パラメータ、 d_n は潮汐成分等を除いた長期トレンド成分である。 N はデータ数、 K はドリフト成分の未知数の数、 $K2$ は潮位偏差のラグの個数、 $K3$ は有義波高のラグの個数、 M は分潮数である。なお、本解析では主要8分潮で、 $K2$ 、 $K3$ は0、解析期間は2ヶ月、 N 、 K はそれぞれ1060、1488である。

超パラメータ ν は、大きくなればトレンド成分がなめらかになる。ただし、未知の値であるため、複数の超パラメータ ν を与えて計算し、以下のABICが最小となるときの値を求めて ν を決定した。

$$ABIC = N \ln 2\pi + N + N \ln \hat{\sigma}^2 - K \ln \nu^2 + \sum_{i=1}^{2M+K} \ln S_{ii}^2 \quad (3)$$

ここで、 $\hat{\sigma}^2$ は式(2)を最小自乗法で最小にした際に得られる残差分散であり、 S_{ii} はその際に必要となる行列の対角成分であり、鈴木ら(2006)のようにして求めた。

(2) 現地への適用(波崎海岸)

ここでは、茨城県波崎海岸での画像観測データに対して、ABICを用いた汀線変化のトレンドを推定することにした。図-8は波崎海岸で取得されている映像の一例であり、10分間の画像平均をとったものである。また、座標変換を施したのが図-9である。この図から汀線を抽出して解析を実施した。汀線は、海が砂浜に比較して明るいので、その輝度値の変化点を抽出することで位置を特定している。

図-10は、2006年8月22日~10月21日までの画像から得た汀線の位置と、ABIC最小化によって得た汀線の変化である。なお、潮汐と波浪は鹿島港で計測された潮位と有義波高であり、潮位偏差はその25時間平均値である。

2006年の台風により、徐々に汀線が後退していく状況を、波浪の寄与成分とトレンド成分を分離することで表現している。静穏な日が続くと汀線は前進するが、度重なる高波浪により、トレンド成分が徐々に後退している。



図-8 茨城県波崎海岸の棧橋と海浜の10分間平均画像 2006年10月7日(土)

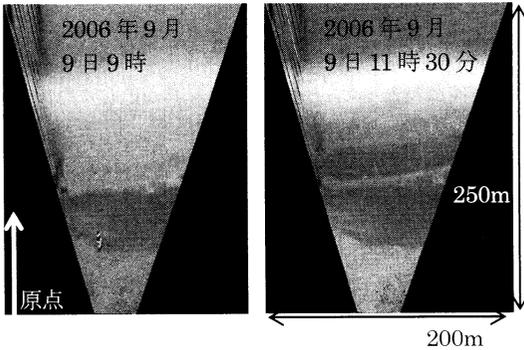


図-9 座標変換後の汀線部(2006年9月9日(土))

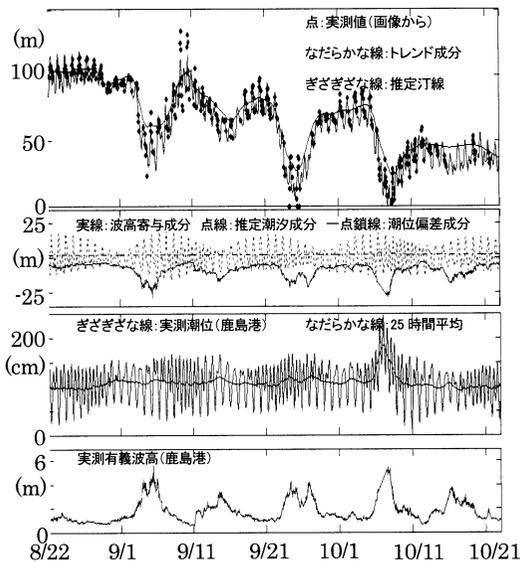


図-10 ABIC 最小化によって得た汀線の変化

おおむね良好な結果が得られているが、以下の問題がある。①9月9日、10日の汀線の前進が表現できないこと、②小潮の時の潮汐成分が小さく見えること、③10月初旬の潮位偏差があまり影響していないことである。

①の原因としては、高波浪の前後で汀線部分の海底勾配が緩くなり、潮汐による汀線の変化が9月4日以降、大きくなったことがあげられる。8月22日～9月3日までは、汀線の変化幅が15m程度だが、9月4日以降30m以上となった。特に、9月9、10日には図-9に示すように、短時

間のうちに汀線が30m近く前進している。調和定数が汀線部分の勾配の変化で変化するというモデルがあれば、推定精度が高くなるものと考えられる。一方、②は日中しかデータが得られないことから、観測期間が長くすれば精度が高まるものと考えられる。

このトレンド成分には、砂浜の侵食による汀線の後退やその後の堆積という意味が含まれている。ただし、潮位偏差成分なども含まれている可能性もあり、今後、その性質を実験等により明らかにしていく予定である。

5. まとめ

- 1) 1台のWEBカメラによって複数の箇所を(任意のズーム倍率で)定期的に観測する、海岸の観測システムを開発した。また、平均画像処理を施すことで、波浪の大きい砂浜の変化も捉えることができることが分かった。
- 2) WEBカメラによる観測では日中しか画像を取得できないことなどからデータが間断的になる。そのようなデータから長期的な砂浜汀線のトレンドを推定するため、ABIC最小化によるトレンド推定法を検討し、2006年の台風により、徐々に汀線が後退していく状況を表現した。

謝辞：本調査を実施するにあたり、三菱石油株式会社、花王川崎工場、国交省関東地整京浜河川事務所、千葉県三番瀬再生推進室、(独)港湾空港技術研究所漂砂研究室の皆様から多大なるご協力を頂いています。また、多摩川河口櫓の観測データを東京湾環境情報センターから、鹿島港の波高、潮位データを国交省関東地整鹿島港湾・空港整備事務所から頂いています。

参考文献

- 石黒真木夫・佐藤忠弘・田村良明・大江昌嗣(1984)：潮汐データ解析プログラムBAY-TAPの紹介一、統計数理研究所彙報, Vol.32, pp.71-85.
- NTT西日本-南九州：宮崎波情報シーサイドライブカメラサイト, <http://www.ii-nami.com/>, 参照2008-3-31.
- 鈴木高二朗・竹田晃(2006)：東京湾口フェリーによる海洋環境の2003～2005年の観測結果とその特性、港空研資料 No. 1134, 37p.
- Lippmann, C. and R. Holman (1989)：Quantification of sand bar morphology: a video technique based on wave dissipation, JGR 94, pp.995-1011.