

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 26 日現在

機関番号：54502

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23614032

研究課題名(和文) 地域振興における観光利用増加を想定した海浜のキャリングキャパシティーの定量化

研究課題名(英文) Quantification of carrying capacity of the beach in the assumption of an increase in tourists by a regional development

研究代表者

柿木 哲哉 (KAKINOKI, TETSUYA)

神戸市立工業高等専門学校・その他部局等・教授

研究者番号：50353298

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円、(間接経費) 870,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、地域振興における観光利用増加を想定した海浜のキャリングキャパシティーの定量化をすることを目的とする。砕波帯から波打ち帯における海水の運動と底質の移動・分級の物理的なメカニズムを調べた。また、それら基本性能が海浜の利用により受ける影響を知るためには、利用状況を測る必要がある。本研究ではその測定方法についても検討した。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to investigate quantification of carrying capacity of the beach that are intended to increase tourist use in regional development. Mechanism of motion of water and sediment and classification of sediment in the surf and swash zone were examined. In order to estimate the affection of the basic performances of a beach by tourists, methods of counting the number of visitors to the beach were developed.

研究分野：時限

科研費の分科・細目：観光学

キーワード：底質移動 分級 画像解析

### 1. 研究開始当初の背景

観光に係る市場は中長期的にみれば、人口減少社会に突入した我が国において戦略的な成長市場である。

近年、地域の環境、生活、文化を破壊せずに自然や文化に触れ、それらを学ぶことを目的に行う旅行としてエコツーリズムという概念が持ち出されている。環境省監修のエコツーリズム推進会議によると、エコツーリズムの概念はもともと発展途上国の自然保護のための資金調達手法として取り入れられたもので、持続可能な観光の1つとして先進国でも展開されており、2002年には国連がエコツーリズム年と定め、その推進を図った経緯もある。

一方、持続可能な観光を実現するためには一定規模の経済活動が行われる必要があり、一般的に活動規模の小さいエコツーリズムではこれらの目標を達成できない。そのため、エコツーリズムの規模を拡大するということになる。「観光」は経済的利益をもたらした反面、自然環境の破壊や文化の侵害などが深刻化した観光(旅行)形態である。そこで、エコツーリズムではこのような欠点を回避し、持続的な発展を実現すべく、キャリングキャパシティー(Carrying Capacity; 環境収容力)の概念が提案されている。

### 2. 研究の目的

本研究では、環境価値並びに観光資源としての価値を開発、保全するため、海岸の環境収容力に着目し、現地調査、室内実験を行うことを目的とする。

本研究では、砂浜の性能と海岸利用状況の間にどのような関係があるのかを調べることで、海浜のキャリングキャパシティーをどのようにして評価すればよいのか検討した。

### 3. 研究の方法

たとえば、鳴き砂海岸のように環境ならびに観光資源としての質の高い海浜にはたいへん多くの利用者が訪れる。それに伴い、海浜地形の表面は乱され、時には、清掃活動などにより重機を投入し、表面をならしたりすることがある。その後、海浜は自然の営力により、地形はある程度平衡な方向へ変形すると考えられる。しかし、地形的にはそうかもしれないが、鳴き砂という観点から見ると、果たしてその機能を失うことなく平衡地形へ向かうのか不明である。底質が鳴き砂であるためには、まず海水が清澄であり、石英を多く含む底質がこの海水の運動により研磨され、分級されることが必要な条件である。ゆえに、まず鳴き砂が海浜の中でどのような振る舞いをしているのかに着目し、その物理的な過程を追い、次いで、それが人による海浜の利用とどのような関係があるのかを調べる。そこで本研究では、砕波帯から波打ち帯における海水の運動(底質中の間隙水を含む)と鳴き砂(底質)の移動・分級の物理的

なメカニズムを明らかにし、海浜の物理的基本性能を調べる。次に、それら基本性能が海浜の利用状況によりについて調べ、以上を総合し、定量的な海浜のキャリングキャパシティーの評価手法の開発を試みた。

#### (1) 室内実験による底質移動の物理過程(鉛直断面2次元)

従来法では計測困難な波打ち帯における岸沖漂砂量を、引き波通過後の底面露出時の砂移動についても考慮した計測手法の開発を行う。このとき、海水の運動についても同時計測する手法を開発する。計測装置は神戸高専に設置されている画像解析システムを流用することとする。この画像解析システムはダブルパルスのレーザーシートを発生させることができ、そのレーザーシートにより可視化された断面は解像度約200万画素のCCDカメラにより撮影され、PC内にデジタル記録される。画像解析には申請者が開発したものを適宜改良しながら使用する。これら一連のシステムが主要な計測装置となる。ここで問題となるのは、「レーザーの透過しない底面下をどのように可視化するのか」である。解決法としては、実験水槽の側壁越しに現象を観察し、側壁の極近傍を解析するか、実験に用いる砂として、レーザーが透過するような砂を用いる、などが考えられる。前者については従来から採られている方法であり、研究例は多い。一方、後者の「レーザーが透過するような砂を用いた実験」については既往の研究例はみられない。したがって、本研究ではこれを試みた。具体的にはインデックスマッチングによる方法を用いた。透明なガラスを粉砕した擬似砂を作成し、その粉砕ガラスとほぼ同様の屈折率をもつ液体(よう化ナトリウム水溶液)を海水に見立て、実験を行った。そうすることで底面下までレーザー光は進入し、底面下を可視化、画像解析でき、底面下の水や砂粒子の運動を知ることができる。

#### (2) WEBカメラを用いた海浜変形過程の計測ならびに海浜利用状況の調査手法の開発

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(Lippman・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。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、普及していない。初期費用が高額となる理由は、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のカメラを取得、保存するため、PCや通信機器などを用いる必要があり、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。これらの問題に対して鈴木ら(2008)が、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し

ている。そこで本研究では、まず鈴木ら(2008)による波のモニタリング手法を改良して、海浜地形をモニタリング出来るようにし、新たに画像解析の手法を開発した。=

#### 4. 研究成果

(1) 室内実験による底質移動の物理過程(鉛直断面 2 次元)

##### ① 可視化実験

図1は実験装置の模式図である。実験は小型の2次元造波水路を作成して行った。造波水路部分は長さ200cm、幅5cm、高さ20cmとした。造波方式はプランジャー式とし、200vの電動モーターを用いてフロートを上下することで造波させた。造波装置反対側の水路長さの半分は斜面部分とし、斜面勾配は1/10程度とした。また、斜面は移動床としたが、斜面に用いた材料はパイレックス7740(比重2.32、屈折率1.474)を粉砕したものをを用いた。鉛直2次元の可視化断面は水槽のガラス側壁から1cm奥に設けているため水槽側壁の影響は少ないものとする。

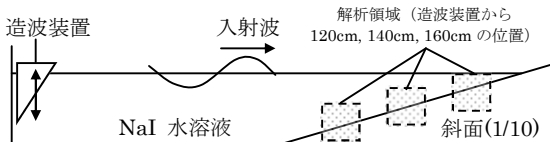


図1 実験装置

斜面の材料として用いる粉砕ガラスにはふるい目0.6mm~0.2mmに残留したものを使用し、粉砕ガラスの中央粒径は0.40mmである。この粉砕ガラス1粒1粒を顕微鏡等で拡大して見る分には透明であり、粒子の向こう側が透けて見える。しかし、この粉砕ガラスも大量に集まると空中や真水中では白色不透明となる。したがって、斜面内部を透明化するためには、粉砕ガラスの原材料であるパイレックスと屈折率の等しい流体を使う必要がある。また屈折率は入射光の波長により変化するため、可視化レーザーに合わせて屈折率を調整する必要がある。本研究で用いた可視化レーザーはNd-YAGで、波長は532nmである。これと同方式、同波長のレーザーを用いている松井ら(1998)の研究を参考に、NaI水溶液を重量濃度56.4wt%として粉砕ガラスと屈折率をマッチングした。なお、動粘性係数をウペローデ式で実測したところ0.0165cm<sup>2</sup>/sであり、また比重は1.71であった。斜面を全てパイレックスで作成すると斜面全体が透明になり、可視化できないため、トレーサーとして砂を投入前のドライの状態に混入した。砂の比重は2.62、中央粒径は0.36mmである。砂の混入率は重量比3%、5%、10%~50%で試験したが、5%を超えると可視化画像に砂が映り過ぎ、画像の粒子解析が困難であった。また、砂が均等に散らばっている限り、5%程度で問題ないが、分級が進行すると砂の存在率が変化するため、やや低

い3%とした。

##### ② 可視化画像の画像解析

実験中は粉砕ガラスと砂の両方が浮遊するが、ガラスは殆ど見えないため、まばらな砂が可視化されるだけである。従って、高濃度の浮遊砂雲の内部も観察できる。さらに、NaI水溶液に少量混じった細粒分がトレーサーとなり、こうした高濃度の浮遊砂雲中の流動も観察できるため、可視化されている砂の粒子解析とPIV解析を同時に行った。

##### ③ 実験ケース

実験ケースは様々な漂砂の過程を観察するため、(i)堆積型、(ii)中間型、(iii)侵食型の地形を形成する条件で行った。使用する波は規則波で、波の条件は順に、(i)沖波波高=2.0cm、周期=2.0s、(ii)沖波波高=2.5cm、周期=1.8s、(iii)沖波波高=3.0cm、周期=1.6s、水深は9.8cmとした。図2~図4に造波前後の地形測定結果を示す。

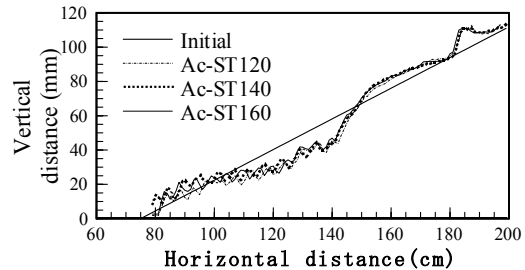


図2 造波前後の地形の比較(堆積型)

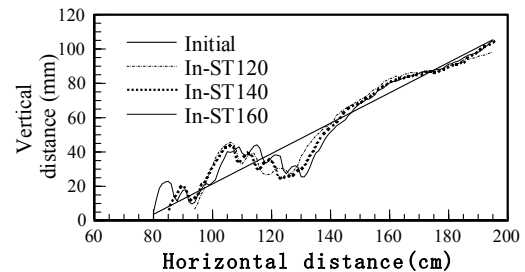


図3 造波前後の地形の比較(中間型)

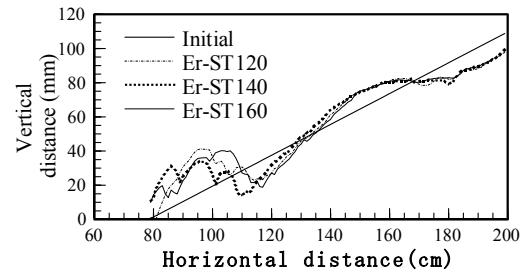


図4 造波前後の地形の比較(侵食型)

図2~図4は造波開始前の初期地形と20分間造波した後の地形であり、図の横軸が水平距離(cm)、縦軸が鉛直距離(mm)である。両軸の原点は造波水槽の造波装置側の底面端部であり、横軸の数値は造波装置からの距離、縦軸は水槽底面からの高さを表している。ま

た、図の左が沖側、右が岸側であり、波は図の左側から入射する。グラフの凡例は Ac が堆積型, In が中間型, Er が侵食型を表す。また、これに続く ST120, ST140, ST160 は可視化断面の位置であり, ST の後の数値は図の横軸の数値 cm に対応している。いずれのケースも 3 回ずつ同じ造波を行ったが, 堆積型はほとんど同じ地形が形成され, その他の 2 ケースも沖側の微地形に若干のばらつきはあるものの, 毎回同じ地形が形成された。出来上がった地形の特徴は次のとおりである。

図 2 の堆積型の波を造波したケースでは, 水平距離 150cm を境に岸側が堆積, 沖側が侵食しており, 典型的な堆積型の地形を形成している。また, 140cm 地点より沖側には砂漣が発達しており, 砂漣の波長は 5cm, 波高は 3cm 程度であった。この砂漣が発達している侵食領域の砂が 150cm 地点より岸側の領域へ漂砂されたことは明らかだが, このとき分級がどのように進化したかについて, 次章で画像を用いて調べることとする。

続いて, 図 3 は中間型の波を造波したもので, 115cm 地点から 145cm 地点までは侵食され, その両側は堆積している。この侵食部分の砂が漂砂し, 両側に堆積地形を形成したと考えられる。

図 4 の侵食型のケースでは, 汀線付近が侵食され, その沖側に砂州を形成している。

#### ④ 造波前後での砂粒子の空間分布の変化

図 5a~図 7b は粒子解析と PIV 解析を同時に描画した複合グラフで, 画像解析結果である。また, a, b の 2 枚の図面で 1 組であり, 上段が造波開始前の初期状態, 下段は 20 分間造波した後の状態である。図中の赤丸は検出された粒子を表しており, 各図左上の赤丸が直径 0.40mm の粒子を表している。

120cm 地点と 140cm 地点の解析領域はすべて流体で満たされているが, 160cm 地点の解析領域は鉛直座標 30cm のところまで水面が下がり, かつこのあたりで砕波する。なお, ここで検出された粒子というのは, 屈折率を流体と同じくした粉砕ガラスではなく, 粉砕ガラスに少量混ぜた普通の砂である。

また, ベクトルは流速ベクトルを表しており, 図の上端の余白に速さ 50mm/s のものを作図している。なお, 粒径も速度ベクトルも大きさに対して線形に表示している。図 7~図 9 は堆積型の結果で, それぞれ図は順に 120cm 地点, 140cm 地点, 160cm 地点のものである。

図 5a~図 7b を見ると, 上段 a の造波前は粒子が散らばっているのに対し, 下段 b の造波後の結果では移動床の厚さが小さくなり, 粒子が集まっている。検出された粒子の数は図 5 と図 6 が約 7%, 図 7 が約 14% 減少しているが, 砂層の減少幅に比べるとかなり小さい。つまり, 混入した砂はあま

り移動せず, 粉砕ガラスの方が主体的に移動したことになる。図 7b 中の点線は, 砂の多い層の上に乗って地形を形成しようとしているガラスの層の表面付近である。

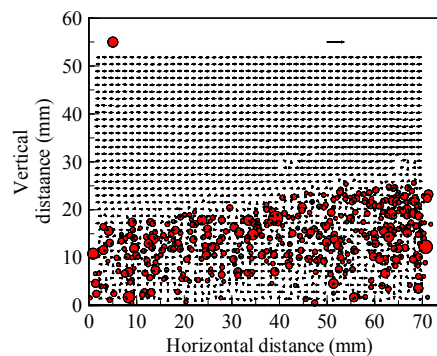


図 5a 造波前-120cm 地点

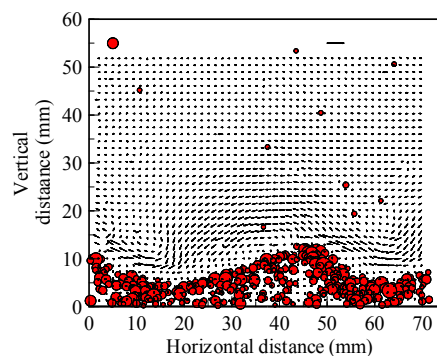


図 5b 造波後-120cm 地点

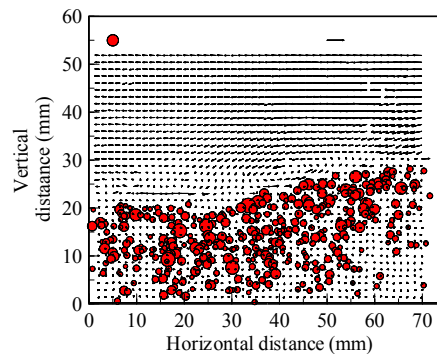


図 6a 造波前-140cm 地点

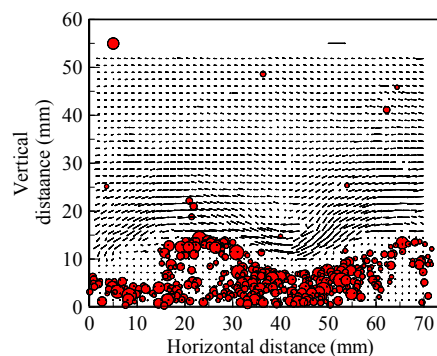


図 6b 造波後-140cm 地点



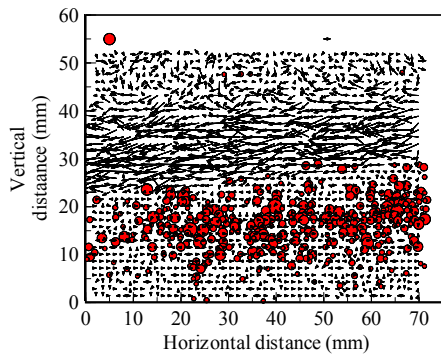


図 7a 造波前-160cm 地点

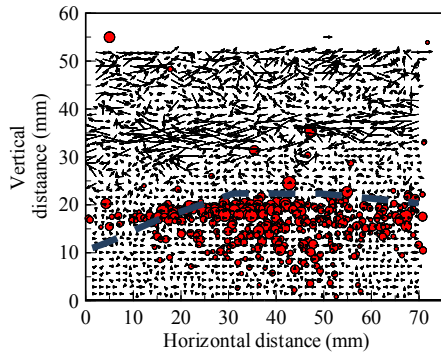


図 7b 造波後-160cm 地点

その他、中間型では、120cm 地点は大きく侵食されるとともに、砂が取り残されているのが分かった。検出された砂粒子の減少の割合も数%未満であったことから、この領域の底質は漂砂に寄与しなかったことがわかる。汀線付近を除いて中間型と侵食型のケースは類似していた。

(2) WEB カメラを用いた海浜変形過程の計測ならびに海浜利用状況の調査手法の開発

① 使用する画像と色空間

画像は 24bit, Jpeg 圧縮, 画素数 320×240 ピクセルで, web カメラで撮影され一般に公開されているものを使用する。本研究では京丹後市琴引き浜に設置してあるライブカメラの画像を使用した。実際の画像を掲載することはできないのでスケッチを図 8 に示す。

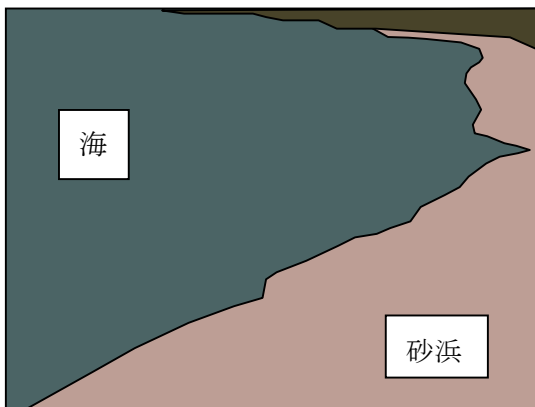


図 8 ライブカメラ画像のスケッチ

次に、画像の色抽出についてであるが、一

般的な色空間として用いられるのは RGB である。他には HSV や CMY 空間による表現法などもある。HSV 空間による表現法では色を色相彩度明度という観点で捉え、その組み合わせにより細かな色の指定が可能であることから、本研究では、この HSV 空間による色の表現法を用い、背景と着目領域の特定を行う。

② ノイズ除去 (平滑化)

ノイズにはいくつかの原因があるが、使用している画像は圧縮されているものを使うため原画像との誤差が生じる。これがノイズとなりラベリングなどを行う際の正確さを損なう原因になる。平滑化をノイズ除去に用いる場合、線形空間フィルタはエッジも平滑化してしまう。これを解決するのに非線形なエッジ保存型平滑化フィルタが提案されている。このノイズを除去する方法として本研究では、Fukunaga らや Cheng などにより提案された、エッジの保存に優れたアルゴリズムである平均移動法 (Mean shift) を用いる。たとえば、図 9 は、上段が左から原画像、Mean-shift フィルタ、Gaussian フィルタを用いて平滑化した画像、下段はそれらを 2 値化した画像である。Mean-shift フィルタは Gaussian フィルタに比べ、エッジが鮮明で、2 値化画像も原画像により近づいているのがわかる。

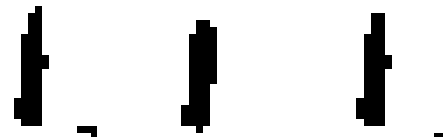
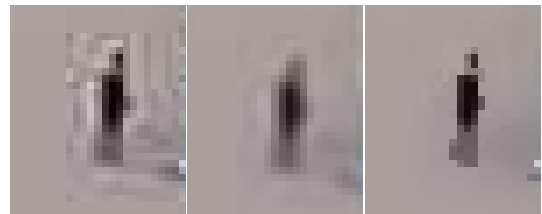


図 9 平滑化画像と 2 値化画像

③ 閾値処理

ライブカメラより取得した原画像を用いて閾値を調べ、決定する。本研究では砂浜の利用を見るだけでなく汀線の変化にも着目しているため、閾値の設定をテントや人を抽出するものと、テントや人は抽出せず汀線で分けているものの 2 種類のデータを用意した。日照の度合いによって設定する閾値の値が大きく変わるので、本研究では利用者が特に多い 7/20~8/5 の午前 11 時~午後 4 時の画像を用いて閾値をどの程度に設定すればよいかを調べた。

d) 海浜地形の季節変化

図 10 は画像解析の結果で、画像中の砂浜

部分の面積を時系列にプロットしたものである。図の縦軸は砂浜の面積（ピクセル×ピクセル）、横軸が時間（日）を示す。データは1日あたり11個（午前7時から午後5時までの1時間ごとに1つ）で、これが2013年1/1～12/31までの1年分ある。この図をみると、砂浜の地形は季節ごとに変化しているのがわかる。大まかな傾向として、この海浜は、(i)春季と夏季に侵食される、(ii)夏季後半から秋季は堆積傾向、(iii)冬季は侵食傾向にあることが分かる。従って、春季と夏季には砂浜の砂が沖合で波の作用により分級や研磨などの作用を受け、冬季に砂浜に戻されることが推測される。

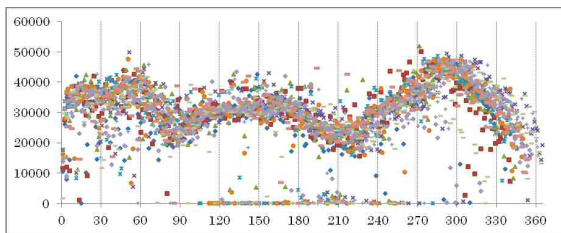


図10 画像中で砂浜が占める面積の時系列

#### ④ 海浜の利用者の時間変化

図11は画像中における、利用者と利用者が持ち込んだテント等が占める面積の時系列を表したものである。データは午前7時から午後5時までの1時間ごとに1つである。期間は、特に利用が集中する7/1から8/31までの2カ月間分を取り出した。図の軸は図10と同様である。7月下旬から8月初旬にかけて利用が増大している様子をとらえているのがわかる。なお、これ以外の季節では、7・8月のような規模で利用はされていない。

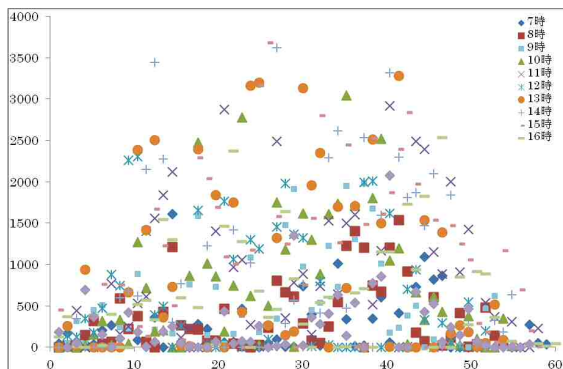


図11 利用者等が占める面積の時系列

さらに、1日のうちでどの時間帯に利用のピークが見られるかを調べるため、図11のデータを各時間ごとに並べ変えたものが図12である。図の縦軸は図11と同様であるが、横軸は時刻を表している。プロットはいずれかの日付を表す。これをみると、午後2時にピークが現れるのがわかる。また、ここには示していないが、画像から抽出された人物やテントなどは、それが位置する場所の情報も得られている。

一般的に用いられているライブカメラの画像は必ずしも高解像度ではないが、長期に渡り、かつ自動的に記録することが可能であるため、長期のトレンドの解析が必要となるような海浜の物理過程や利用者の動向を知る上で、有効な手段となる。しかも、それが定量的な情報を提供してくれるとなればさらにありがたい。本研究の手法を適用すれば、比較的容易に長期のデータを取得することができることが分かった。

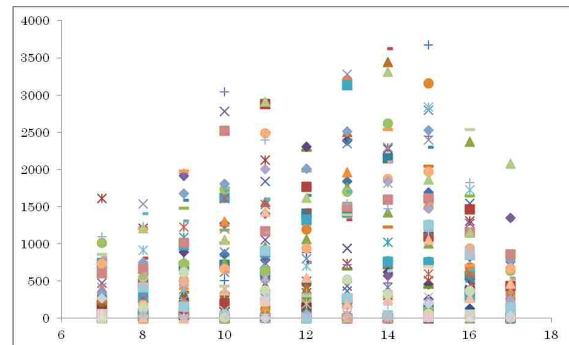


図12 利用者等が占める面積の時系列

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2 件)

- ① Tetsuya Kakinoki, G. Tsujimoto, F. Yamada, D. Sakai and K. Uno, Beach Profile and Sediment Characteristics of a Mixed Sand Beach Under Diurnal Sea Level Variations, Journal of coastal research, 査読有, SI64, 2011
- ② 柿木哲哉, 辻本剛三, 宇野宏司, 岩佐勇毅, インデックスマッチング法を用いた砂層内部の断層撮影, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. 70, No. 2, 査読有 (第2段審査中)

〔学会発表〕(計 1 件)

- ① 岩佐勇毅, 柿木哲哉, 辻本剛三, 宇野宏司, インデックスマッチング法を用いた砂層内部の可視化に関する基礎的研究, 平成26年度全国大会第69回年次学術講演会概要集, 2014 (掲載予定)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

- 出願状況 (計 0 件)
- 取得状況 (計 0 件)

〔その他〕なし

#### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

柿木 哲哉 (KAKINOKI, Tetsuya)  
神戸市立工業高専・都市工学科・教授  
研究者番号: 50353298

(2) 研究分担者 なし

(3) 連携研究者 なし