

京丹後市海水浴場における水深変化の特徴分析

新庄雅斗^{†1} 佐藤洸次朗^{†2} 武内奎太^{†3} 岩崎雅史^{†3}

概要：近年，地方自治体では地域の特色を生かした観光振興が進められている。京都府京丹後市は美しい日本海を武器にレジャーや観光を目的とした利用客の獲得に力を入れているが，海水浴場に関しては17ヶ所にも及ぶため，個々の細やかな魅力発信はもちろんのこと，個々のアピールポイントを把握するだけでも容易なことではない。本論文では，最初に，京丹後市の海水浴場の水深変化を可視化するために必要となるデータの収集方法と，収集データをもとに水深3Dマップを作成する方法を述べる。つづいて，収集データで構成される行列の特異値分解をもとに，水深変化の複雑さと類似性を明らかにできることを示す。

キーワード：京丹後市，海水浴場，水深マップ，特異値分解，特徴分析

1. はじめに

京都府では歴史的な都市としてだけでなく他の魅力も伝えるために「もうひとつの京都」事業[1]が進められていて，日本海に面する京丹後市では美しい海を活かした観光振興が期待されている。多くの人に京丹後市の美しい海を知ってもらうには，海水浴場に足を運んでもらうのがよい。しかしながら，京丹後市には17もの海水浴場があるため，初めて京丹後市を訪れる人はどの海水浴場に行くべきかを決定するのが容易ではない。京丹後市側も，海水浴場ごとの特徴に基づいてそれらを分類しようとしても，数の多さ故に難しく，積極的な広報ができない状態にある。なお，京丹後市は海水浴場数を15としているが，これは2つの海水浴場とカウントすべきものを管理の都合で1つにまとめているものがあるためである。

本論文では，水深変化に着目して，京丹後市の海水浴場ごとの差異を明らかにするために，水深変化を可視化する方法と海水浴場間の類似度を水深変化に基づいて評価する方法を提案する。海水浴場を紹介する情報誌やWebページでは遠浅などの水深に関する表現が見られることから，海水浴場の水深変化は海水浴場を特徴づける要素の1つといえる[2, 3, 4]。しかしながら，海水浴場の水深変化は短い文章で表現できるほど単純ではないため，実際に訪れてみると事前の情報と違う印象を受けることも少なくない。京丹後の海水浴場が紹介された「京丹後ナビ」[5]は近隣他府県の同種のWebページよりも充実しているが，海水浴場ごとの差異を明確に読み取れるものではない。よって，海水浴場ごとの水深変化を可視化しておけば，多くの観光客がそれぞれの嗜好に応じて海水浴場を選択する際の助けとなると考えられる。また，海水浴場間の類似度を算出しておけば，例えば前回訪れた海水浴場と似ている別の海水浴場に行きたい人や，前回訪れた海水浴場とは異なる海水浴場に



図1 京丹後市の海水浴場の位置

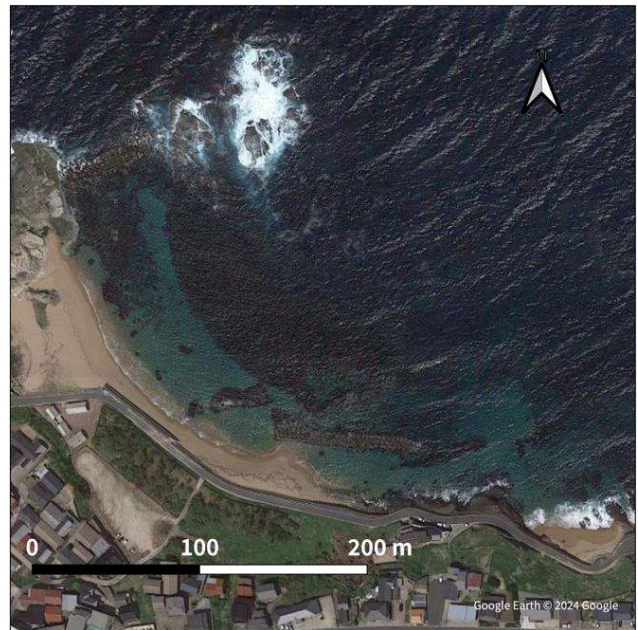


図2 後ヶ浜海水浴場の衛星画像

行きたい人などに対して的確な海水浴場を推薦できる。京丹後市の海水浴場は図1に示す蒲井浜，小天橋，葛野浜，箱石浜，浜詰夕日ヶ浦，八丁浜，小浜，琴引浜掛津，琴引浜遊，砂方，後ヶ浜，立岩，竹野，平，高嶋，久僧，中浜であるが，このうち，小天橋，葛野浜，浜詰夕日ヶ浦，立

^{†1} 大阪成蹊大学 (連絡先: shinjo@osaka-seikei.ac.jp)

^{†2} 同志社大学

^{†3} 京都府立大学

投稿日: 2024年8月28日

採択日: 2024年11月21日

岩, 平の5ヶ所を除いた12ヶ所に対する研究結果を本論文では報告する。

本論文の構成は以下の通りである。2節では、海水浴場の水深変化を分析するために必要となるデータの収集方法について説明し、収集された測深データに基づく水深3Dマップの作成方法を述べる。3節では、測深データを並べた行列に対する特異値分解[6,7]を通じて、海水浴場ごとの水深変化の特徴を数値化できることを示す。さらに、その結果をもとに異なる海水浴場間の類似度についても議論する。4節では、まとめと今後の展望について述べる。

2. データ収集と水深3Dマップの作成

この節では、最初に、本論文の研究対象である12ヶ所の海水浴場に対して実施した水深調査について述べる。つづいて、現地調査で得られた測深データとそれをもとにどのように水深3Dマップを作成したかについて、図2の後ヶ浜を例に挙げて説明する。

水深調査は2021年7月～10月の4ヶ月間のうち、雨や風の影響がなく波が穏やかな日を選んで実施した。具体的な実施日は砂方が7月15日、久僧が8月26日、高嶋が8月30日および9月7日、中浜が9月10日、八丁浜が9月13日、竹野が9月21日、後ヶ浜が9月24日、蒲井浜が9月27日、琴引浜掛津と琴引浜遊が10月4日、小浜が10月8日、箱石浜が10月15日である。

水深調査では、測深地点を定めるためにマイゾックス製の測量ロープ50m (PR4-50)を、定められた測深地点において測深するためにマイゾックス製のガラス繊維レッドロープ20m (GR5-20)を用いた。測深地点決定用のロープは1m刻みで印が付けられた沈まないタイプで、測深用ロープは50cm刻みで印が付けられた沈むタイプである。測深用ロープの片端は海底まで到達させる必要があるので100号の錘を結び付けた。測深地点が決定すれば、図3に示すように測深地点まで泳いで移動し、測深用ロープの錘が付いた片端を鉛直方向に海底まで沈めて緩みがないように張り、水面と近い目盛りの値を読み取る。海水浴場は周囲と比べて波が穏やかな場所に設定されているせいも、海天気.jp [8]の沿岸波浪予報値よりも実際の波の高さは低く、波の影響による水面変化は大きくても20cm程度であった。そのため、今回の測深方法では波の影響は問題にならないレベルといえる。極浅海域の測深方法としては小型魚群探知機[9]やレーザー測深機[10]を用いる方法も提案されているが、どちらも収集できるデータ量は格段に多くなる反面、精度面での不安が残る。小型魚群探知機の測深精度は、水中の浮遊物や小さな波でも著しく悪化する場合がある。レーザー測深機の測深精度は、岩礁やテトラ付近で悪化する場合があり、加えて海水の濁りにも左右される。また、レーザー測深機を用いる方法ではセスナ機が必要となるため、



図3 ロープを用いた測深のイメージ

複数の海水浴場を測深するにはコスト面で現実的ではない。さらに、本論文では特定の地点の測深が確実に行えればよいので、必要となる道具やその準備の煩雑さなども考えるとロープを用いる方法が最善手といえる。海中作業者は海中でも記入できるボードを携帯し、測深直後に得られた水深を記録する。海中作業者だけではどの地点を測深しているか分からないため、測深予定地点に到達するには波打ち際にもう1人作業者が必要となる。この波打ち際の作業者を地上作業者と呼ぶことにし、海中作業者と地上作業者が行うべき具体的な作業の手順を以下の①～⑤に示す。①海中作業者が測深用ロープを携えて測深地点決定用ロープの片端をつかんで波打ち際と測深地点決定用ロープが垂直になるように沖に向けて泳ぐ。②地上作業者は波打ち際で測深地点決定用ロープを軽く握り、海中作業者が波打ち際から10m, 20m, 30m, 40m, 50m地点に到達したときに測深地点決定用ロープを強く引っ張って合図を送る。③合図を受けた海中作業者は動きを止め、地上作業者のジェスチャーに応じて測深地点を微調整し、測深用ロープを用いてその地点で測深する。④海中作業者は波打ち際から50m地点の測深を終えると測深地点決定用ロープを放し、次の測深

に備えて波打ち際まで泳いで戻る。⑤地上作業者は測深地点決定用ロープを回収しながら、波打ち際を水平方向に移動して次の作業開始点を定める。地上作業者の水平移動距離は 10m, 20m, 30m, 50m の中から海水浴場の規模に見合うものを選択した。なお、海中作業者が沖合方向に泳ぐ距離を 50m までとしたのは、京丹後市では沖合方向が 50m 付近までを遊泳領域に設定する海水浴場が多く、そうでない海水浴場でも海水浴客のほとんどは沖合方向に 50m を超えて泳ぐことはないためである。

得られた測深データのうち、後ヶ浜のものを表 1 に示す。行方向は原点から波打ち際に沿って移動した距離 x [m]を、列方向は波打ち際に対して垂直な沖合方向へ移動した距離 y [m]を対応させている。ここで、原点は沖合方向を向いたときの海水浴場の波打ち際の左端とした。波打ち際の水深 0m に対して、例えば、原点から波打ち際に沿って右に 60m 移動し、沖合方向に 40m 泳いだ地点の水深は 3.5m であることが表 1 よりわかる。

水深変化を視覚的にわかりやすくするためには、 x の値を x 軸に、 y の値を y 軸に、水深の値を z 軸に対応させた xyz 直交座標系での描画が効果的である。その際に水深データを行列形式に変換するのが扱いやすく、表 1 の測深データは波打ち際の水深が 0m というデータを追加すると

$$Z_{\text{後ヶ浜}} = \begin{bmatrix} 0.0 & 0.5 & 1.5 & 3.0 & 5.0 & 5.0 \\ 0.0 & 1.5 & 2.5 & 3.5 & 4.0 & 5.0 \\ 0.0 & 1.5 & 2.5 & 3.0 & 3.5 & 5.0 \\ 0.0 & 1.5 & 3.0 & 3.0 & 3.5 & 4.0 \\ 0.0 & 1.5 & 2.5 & 3.0 & 3.5 & 4.0 \\ 0.0 & 1.5 & 3.0 & 3.5 & 4.0 & 5.0 \\ 0.0 & 1.5 & 3.5 & 4.0 & 4.5 & 5.0 \\ 0.0 & 1.0 & 2.5 & 3.5 & 4.0 & 3.5 \\ 0.0 & 2.0 & 2.5 & 3.5 & 4.0 & 3.5 \\ 0.0 & 2.0 & 3.0 & 3.0 & 4.0 & 3.5 \end{bmatrix} \in \mathbb{R}^{10 \times 6}$$

となる。このとき、MATLAB の surf 関数を用いると、後ヶ浜の水深 3D マップとして図 4 が得られる。なお、水深 3D マップでは、水深の浅いところを緑色で、水深の深いところを青色で表している。波打ち際の曲がり具合も踏まえて水深 3D マップを作成することは難しくないが、本論文の目的から少し逸れるため、この手法については本論文では説明を省略する。

なお、京丹後市の海水浴場は日本海に面しているため、太平洋側の海水浴場とは違って潮汐の干満差は考慮する必要がないレベルである。気象庁が公表している潮汐観測資料[11]によると、和歌山県の白浜では調査実施日の日中における干満差の最大値は 152cm であるのに対して、京都府の舞鶴だと僅か 25cm であり、このような傾向は別の日でも同じである。後ヶ浜海水浴場の場合は波打ち際から沖合

表 1 後ヶ浜海水浴場の測深データ

$x \backslash y$	10m	20m	30m	40m	50m
0m	0.5m	1.5m	3.0m	5.0m	5.0m
20m	1.5m	2.5m	3.5m	4.0m	5.0m
40m	1.5m	2.5m	3.0m	3.5m	5.0m
60m	1.5m	3.0m	3.0m	3.5m	4.0m
80m	1.5m	2.5m	3.0m	3.5m	4.0m
100m	1.5m	3.0m	3.5m	4.0m	5.0m
120m	1.5m	3.5m	4.0m	4.5m	5.0m
140m	1.0m	2.5m	3.5m	4.0m	3.5m
160m	2.0m	2.5m	3.5m	4.0m	3.5m
180m	2.0m	3.0m	3.0m	4.0m	3.5m

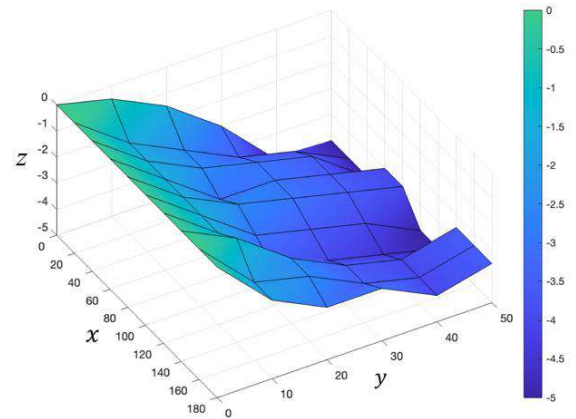


図 4 後ヶ浜海水浴場の水深 3D マップ

10m 付近の水深の平均が 1.45m のため、25cm の水位変化で波打ち際が動きうる距離は $(10/1.45) \times 0.25 \approx 1.72\text{m}$ 程度であり、沖合 10m 付近の水深の平均が 0.5m と浅い海水浴場においても、25cm の水位変化で波打ち際が動きうる距離は $(10/0.5) \times 0.25 = 5\text{m}$ 程度となる。このような水面の変化を水深 3D マップにおいて考えると、沖合方向あるいはその逆方向に少し平行移動されるのと同時に、海底方向あるいはその逆方向に対して少し平行移動される。よって、海水浴場は極端な水深変化がない場所に設置されていることも考慮すると、25cm 程度の水位変化では水深 3D マップの全体的な傾向を変えてしまうほどの影響力はないといえる。ちなみに、沖合 10m 付近の水深の平均が 0.5m と浅い海水浴場において干満差が 152cm とすると、波打ち際が動きうる距離は $(10/0.5) \times 1.52 = 30.4\text{m}$ と大きくなるため、太平洋側の海水浴場の水深 3D マップを作成するには、干満差の数値を用いて補正するなどの工夫が別途必要となる。

3. 水深変化の特徴分析

水深 3D マップから海水浴場ごとの雰囲気は感じ取れるが、例えば水深変化の複雑さを順位付けしようとする、客観的に評価できるように海水浴場ごとの特徴を数値化する必要がある。よって、本節では海水浴場ごとの測深データ行列から海水浴場ごとの特徴を数値化する。また、この結果を用いて海水浴場間の類似度についても明らかにする。

まずは行列の特異値分解について説明する。長方形行列 $A \in \mathbb{R}^{m \times n}$ の特異値分解は、 $m \geq n$ であるとき、2 つの直交行列 $U \in \mathbb{R}^{m \times m}$, $V \in \mathbb{R}^{n \times n}$ と (1,1)成分が σ_1 , (2,2)成分が $\sigma_2, \dots, (n,n)$ 成分が σ_n , それ以外の成分が 0 となる $\Sigma \in \mathbb{R}^{m \times n}$ を用いて、

$$A = U\Sigma V^T \quad (1)$$

で与えられる。 $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n$ は A の特異値と呼ばれ、 $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \dots \geq \sigma_n \geq 0$ となるように U と V を組み合わせるのが一般的である。 U は Σ の左側なので左直交行列、 V は Σ の右側なので右直交行列と呼ばれる。さらに、 U の列ベクトルは左特異ベクトル、 V の列ベクトルは右特異ベクトルと呼ばれ、 σ_k に対応する左特異ベクトルは U の k 列目ベクトル u_k , 右特異ベクトルは V の k 列目ベクトル v_k である。 A に含まれる k 番目に強い特徴は第 k 主成分と呼ばれるが、これが全体の特徴に対してどのくらい寄与するかの割合は、

$$\frac{\sigma_k}{\sigma_1 + \sigma_2 + \dots + \sigma_k + \dots + \sigma_n} \quad (2)$$

で求められる。第 k 主成分がどのようなものかについての情報は u_k と v_k に集約される。

後ヶ浜の測深データ行列 $Z_{\text{後ヶ浜}}$ から波打ち際の 0.0m が並ぶ 1 列目を除いて特異値分解すると、 $Z_{\text{後ヶ浜}}$ の特異値として、 $\sigma_1 = 23.513$, $\sigma_2 = 2.255$, $\sigma_3 = 1.508$, $\sigma_4 = 0.831$, $\sigma_5 = 0.602$ が得られる。ただし、 $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4, \sigma_5$ の数値は小数点以下 4 桁を四捨五入したものであり、以降の特異値分解絡みの数値も同様である。 $\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 + \sigma_4 + \sigma_5 = 28.709$ なので、 $\sigma_1 / (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 + \sigma_4 + \sigma_5) = 23.513 / 28.709$ となり、第 1 主成分の寄与率は約 82% であることがわかる。表 2 は海水浴場ごとの最大特異値と第 1 成分の寄与率をまとめたものである。表中では蒲井浜の左側を蒲井左、蒲井浜の右側を蒲井右、箱石浜の左側を箱石左、箱石浜の右側を箱石右、琴引浜掛津を琴引掛、琴引浜遊を琴引遊と略記している。なお、蒲井浜と箱石浜を左側と右側で区別したのは、岩場で砂浜が 2 つに分離されているためである。ここで、蒲井左、箱石左の「左」と蒲井右、箱石右の「右」は地理的な意味を表すものであり、行列の特異値分解で得られる左直交行列の「左」、右直交行列の「右」とは別物であることに注意されたい。蒲井左の水深データ行列を特異値分解すると左直交行列と右直交行列が得られるが、それらとは独立に蒲井左の水深データ行列に対する左

直交行列と右直交行列が定まる。箱石左、箱石右と左直交行列、右直交行

表 2 最大特異値と第 1 主成分の寄与率

	最大特異値	寄与率(%)
蒲井左	13.881	85
蒲井右	6.518	77
箱石左	14.122	88
箱石右	15.525	82
八丁浜	16.647	84
小浜	12.317	71
琴引掛	16.244	81
琴引遊	10.381	89
砂方	7.305	59
後ヶ浜	23.513	82
竹野	28.146	91
高嶋	16.206	82
久僧	15.655	87
中浜	12.191	68

列の関係性についても同様である。蒲井浜の左側、蒲井浜の右側、箱石浜の左側、箱石浜の右側、八丁浜、琴引浜掛津、琴引浜遊、後ヶ浜、竹野、高嶋、久僧については後ヶ浜と同じように第 1 主成分の寄与率が 75% を超えていて、全体の特徴に対して第 1 主成分の特徴が支配的といえる。小浜の水深変化は概ね緩やかであるが、急に深くなる地点があるため、第 1 主成分の寄与率がやや低めの約 71% であるのは納得できる。砂方では海水浴場に占める岩礁の割合が極めて高いことから水深変化が激しく、第 1 主成分の寄与率が約 59% と最も低いのも当然である。これは砂方においてはどの辺りで泳ぐかで印象が大きく変わることを数値化できた結果といえる。中浜の第 1 主成分の寄与率も低めの約 68% であるが、これは波打ち際から沖合 20~30m 付近に積まれたテトラポッドの影響が大きい。

後ヶ浜の測深データ行列 $Z_{\text{後ヶ浜}}$ に対する右直交行列 V としては、

$$V = \begin{bmatrix} 0.194 & -0.544 & -0.088 & -0.801 & 0.129 \\ 0.357 & -0.622 & -0.204 & 0.452 & -0.489 \\ 0.445 & -0.187 & 0.232 & 0.335 & 0.776 \\ 0.538 & 0.252 & 0.687 & -0.177 & -0.377 \\ 0.589 & 0.467 & -0.651 & -0.101 & 0.013 \end{bmatrix}$$

が得られるので、 V の 1 列目のベクトル

$$v_1 = (0.194, 0.357, 0.445, 0.538, 0.589)^T$$

が最大特異値 $\sigma_1 = 23.513$ に対する右特異ベクトルであり、これが後ヶ浜の沖合方向への水深変化の第 1 主成分を数値化したものである。以降、 v_1 を第 1 特徴ベクトルと呼ぶことにする。ちなみに、左特異ベクトル u_1 は沖合方

向とは垂直な方向への水深変化を表すベクトルである。蒲井浜の左側と右側の測深データ行列を後ヶ浜と同じように特異値分解すると、蒲井浜の水深変化の第1特徴ベクトルとして左側と右側でそれぞれ、

$$\mathbf{v}_{L1} = (0.388, 0.272, 0.374, 0.509, 0.614)^T,$$

$$\mathbf{v}_{R1} = (0.262, 0.262, 0.333, 0.552, 0.669)^T$$

が得られる。 \mathbf{v}_{L1} と \mathbf{v}_{R1} の類似度を数値化するために内積を計算すると、 $\mathbf{v}_{L1} \cdot \mathbf{v}_{R1} \approx 0.989$ なので、 \mathbf{v}_{L1} と \mathbf{v}_{R1} の差異は角度にすると約 9° であることがわかる。また、後ヶ浜の第1特徴ベクトル \mathbf{v}_1 との内積を考えると、 $\mathbf{v}_{L1} \cdot \mathbf{v}_1 \approx 0.974$ 、 $\mathbf{v}_{R1} \cdot \mathbf{v}_1 \approx 0.984$ であり、差異を角度に変換するとそれぞれ約 13° 、約 10° となる。これは後ヶ浜が蒲井浜の左側よりも蒲井浜の右側の方に似ていることを意味するが、その事実は水深3Dマップからも確認することができる。後ヶ浜、蒲井浜の左側、蒲井浜の右側における沖合方向への水深変化を比較するために、それぞれの水深3Dマップを回転させると図5, 6, 7が得られる。図5と図7からは後ヶ浜と蒲井浜の右側では沖合方向に向けて水深が概ね単調に増すことが読み取れるのに対して、図6からは蒲井浜の左側では波打ち際から沖合20m付近の水深が沖合10m付近の水深よりも概ね浅いことがわかる。つまり、特徴ベクトルをもとに算出される海水浴場間の類似性は、水深3Dマップの比較から受ける印象を数値化したものと解釈することができる。同じように後ヶ浜の第1特徴ベクトル \mathbf{v}_1 に対して箱石浜の左側、箱石浜の右側、八丁浜、小浜、琴引浜掛、津琴引浜遊、砂方、竹野、高嶋、久僧、中浜の第1特徴ベクトルとの内積をそれぞれ求めると、約0.989、約0.995、約0.998、約0.998、約0.999、約0.994、約0.990、約0.996、約0.996、約0.999、約0.988となる。ただし、第1主成分の寄与率が大きく異なる2つの海水浴場で第1特徴ベクトルを比較するのは意味がなく、例えば後ヶ浜と砂方などである。これらは第1主成分の寄与率が大きく異なる段階で似ていないと結論付けられたい。第1主成分の寄与率が低い中浜や砂方、小浜については第1主成分だけでなく第2主成分以降にも同様の分析を実行することで類似度が算出できる。

表3は海水浴場ごとに他と比べて水深変化の第1特徴ベクトルがどのくらい似ているかをまとめたものである。表3の数値は第1特徴ベクトル間の角度であり、小数点以下1桁を四捨五入したものである。蒲井浜は左側も右側ともに、他の海水浴場とは明らかに特徴が異なることが読み取れる。これは水深3Dマップの比較からも納得できるものであり、蒲井浜の左側については前述したように沖合20m付近が浅いという珍しい特徴をもつことが、蒲井浜の右側については全体的に浅いということが、他の海水浴場とは異なると評価される要因である。

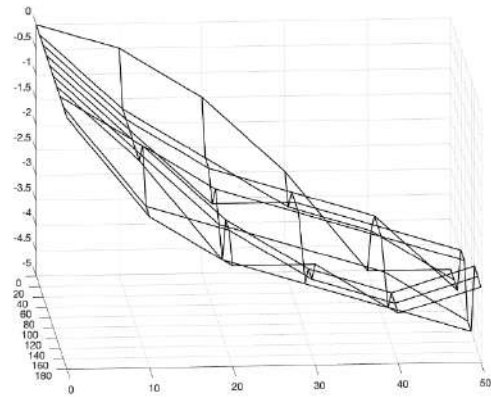


図5 後ヶ浜における沖合方向の水深変化

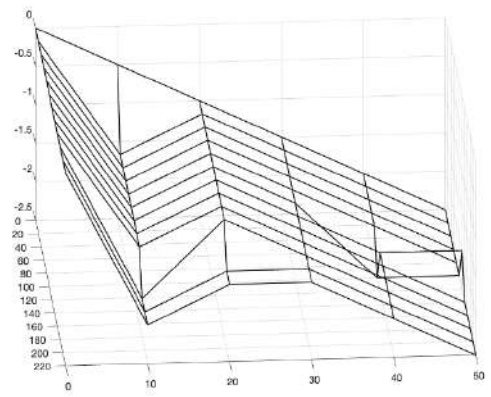


図6 蒲井浜の左側における沖合方向の水深変化

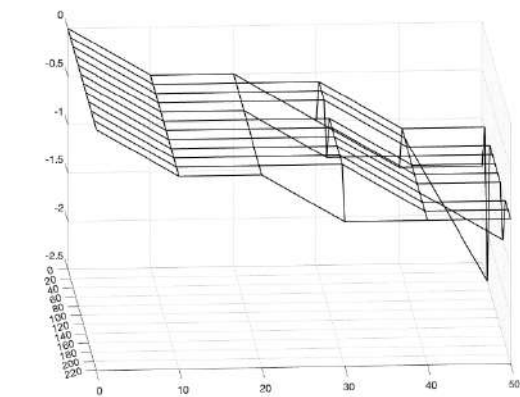


図7 蒲井浜の右側における沖合方向の水深変化

4. まとめと今後の展望

本論文では、京丹後市にある12ヶ所の海水浴場に対する調査・分析を通じて海水浴場ごとの水深変化を明らかにした。その情報を視覚的に伝えるために、3D表示の水深マップを作成した。また、行列形式のデータに対する特異値

表3 第1特徴ベクトルのなす角

	蒲井左	蒲井右	箱石左	箱石右	八丁浜	小浜	琴引掛	琴引遊	砂方	後ヶ浜	竹野	高嶋	久僧	中浜
蒲井左		9	12	8	15	11	11	12	13	13	11	12	11	13
蒲井右	9		11	12	14	9	13	13	11	10	11	9	12	14
箱石左	12	11		7	4	5	6	5	2	2	2	4	3	7
箱石右	8	12	7		8	10	4	5	8	9	5	10	4	6
八丁浜	15	14	4	8		9	6	5	4	5	4	8	5	5
小浜	11	9	5	10	9		9	9	5	5	7	1	7	10
琴引掛	11	13	6	4	6	9		6	7	8	4	9	4	3
琴引遊	12	13	5	5	5	9	6		6	6	3	8	2	7
砂方	13	11	2	8	4	5	7	6		2	4	4	5	7
後ヶ浜	13	10	2	9	5	5	8	6	2		4	4	5	8
竹野	11	11	2	5	4	7	4	3	4	4		6	2	5
高嶋	12	9	4	10	8	1	9	8	4	6	6		7	10
久僧	11	12	3	4	5	7	4	2	5	5	2	7		6
中浜	13	14	7	6	5	10	3	7	7	8	5	10	6	

分解を通じて海水浴場ごとの水深に関する特徴を数値的に分析した。今後はこの分析結果を利用して、類似あるいは異種の海水浴場を推薦するようなシステムの構築を検討したい。

謝辞 本研究を進めるにあたり、現地の情報収集や地域住民との調整、調査機材の管理など、ご協力いただいた京丹後市役所観光振興課の皆様、および、本研究に関連するイラストを作成いただいた多田昭彦氏に感謝いたします。本研究は京都府立大学地域貢献型研究(ACTR)の支援を受けています。建設的なコメントをいただきました査読者に心より御礼申し上げます。

参考文献

- [1] “京都府基本計画（もうひとつの京都・観光分野）”. https://www.pref.kyoto.jp/shinsougoukeikaku/documents/20-1_all_mouhitotsu.pdf, (2024年11月8日アクセス).
- [2] “竹野浜ってどんなところ？竹野浜海水浴場”. <http://takenohama.com/concept/>, (2024年11月8日アクセス).
- [3] “御座白浜海水浴場 | 観光三重”. <https://www.kankomie.or.jp/spot/3493>, (2024年11月8日アクセス).
- [4] “大浜海水浴場 | 淡路島観光協会”. <https://www.awajishima-kan-ko.jp/manual/detail.html?bid=240>, (2024年11月8日アクセス).
- [5] “京丹後ナビ”. <https://www.kyotango.gr.jp>, (2024年11月8日アクセス).
- [6] 奥村学, 佐藤一誠. 「トピックモデルによる統計的潜在意味解析」, オーム社 (2015).
- [7] 柳生晴夫, 竹内啓. 「射影行列・一般逆行列・特異値分解」, 東京大学出版会 (1983).

- [8] “海天気.jp”. <https://www.umitenki.jp>, (2024年11月8日アクセス).
- [9] 鶴成悦久, 西隆一郎, 加茂崇, 立山芳輝, 浜本麦, 林健太郎. “GPS 魚群探知機による極浅海域を対象とした調査手法に関する研究,”土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol. 69, No. 2, pp. I_1132-I_1137 (2013).
- [10] 壺岐信二, 藤山達生, 門脇極, 横田智映, 渡辺智晴, 黒沼徳満, 塚本吉雄. “グリーンレーザによる北海道留萌海岸の測量,”土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol. 75, No. 2, pp. I_115-I_120 (2019).
- [11] “潮汐観測資料”. <https://www.data.jma.go.jp/kaiyou/db/tide/genbo/index.php>, (2024年11月8日アクセス).

付録 A 海水浴場の水深 3D マップ

後ヶ浜の場合と同じ方法で得られる蒲井浜, 箱石浜, 八丁浜, 小浜, 琴引浜掛津, 琴引浜遊, 砂方, 竹野, 高嶋, 久僧, 中浜の水深 3D マップを示す。

A.1 蒲井浜海水浴場

蒲井浜は中央の福島神社を境に左側と右側で違う雰囲気をもつため、2 つに分けて議論するのが適切である。蒲井浜の左側と右側の測深データはそれぞれ以下のように行列形式でまとめられる。

$$\begin{aligned}
 z_{\text{蒲井左}} &= \begin{bmatrix} 0.0 & 0.5 & 1.0 & 1.5 & 2.0 & 2.5 \\ 0.0 & 1.5 & 1.0 & 1.5 & 2.0 & 2.5 \\ 0.0 & 1.5 & 1.0 & 1.5 & 2.0 & 2.5 \\ 0.0 & 1.5 & 1.0 & 1.5 & 2.0 & 2.5 \\ 0.0 & 1.5 & 1.0 & 1.5 & 2.0 & 2.5 \\ 0.0 & 1.5 & 1.0 & 1.5 & 2.5 & 2.5 \\ 0.0 & 1.5 & 1.0 & 1.5 & 2.0 & 2.0 \\ 0.0 & 1.5 & 1.0 & 1.5 & 2.0 & 2.5 \\ 0.0 & 1.5 & 1.0 & 1.5 & 2.0 & 2.5 \\ 0.0 & 2.0 & 1.0 & 1.5 & 2.0 & 2.5 \\ 0.0 & 2.0 & 1.5 & 1.5 & 2.0 & 2.5 \\ 0.0 & 2.0 & 1.5 & 1.5 & 2.0 & 2.5 \end{bmatrix} \in \mathbb{R}^{12 \times 6}, \\
 z_{\text{蒲井右}} &= \begin{bmatrix} 0.0 & 0.5 & 0.5 & 1.0 & 1.5 & 1.5 \\ 0.0 & 0.5 & 0.5 & 0.5 & 1.0 & 1.0 \\ 0.0 & 0.5 & 0.5 & 0.5 & 1.0 & 2.5 \\ 0.0 & 0.5 & 0.5 & 0.5 & 1.0 & 1.0 \\ 0.0 & 0.5 & 0.5 & 1.0 & 1.0 & 1.0 \\ 0.0 & 0.5 & 0.5 & 0.5 & 1.0 & 1.0 \\ 0.0 & 0.5 & 0.5 & 0.5 & 1.0 & 1.0 \\ 0.0 & 0.5 & 0.5 & 0.5 & 1.0 & 1.0 \\ 0.0 & 0.5 & 0.5 & 0.5 & 1.0 & 1.0 \\ 0.0 & 0.5 & 0.5 & 0.5 & 1.0 & 1.5 \\ 0.0 & 0.5 & 0.5 & 0.5 & 1.0 & 1.0 \\ 0.0 & 0.5 & 0.5 & 0.5 & 1.0 & 1.0 \\ 0.0 & 0.5 & 0.5 & 1.0 & 1.0 & 1.0 \end{bmatrix} \in \mathbb{R}^{12 \times 6}.
 \end{aligned}$$

これらの行列から作成される蒲井浜の水深 3D マップは図 8, 図 9 となる.

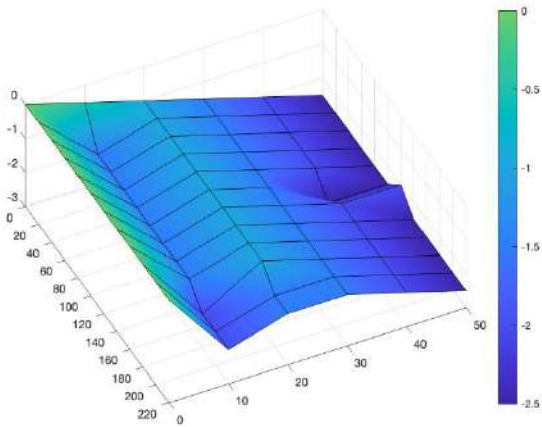


図 8 蒲井浜海水浴場 (左側) の水深 3D マップ

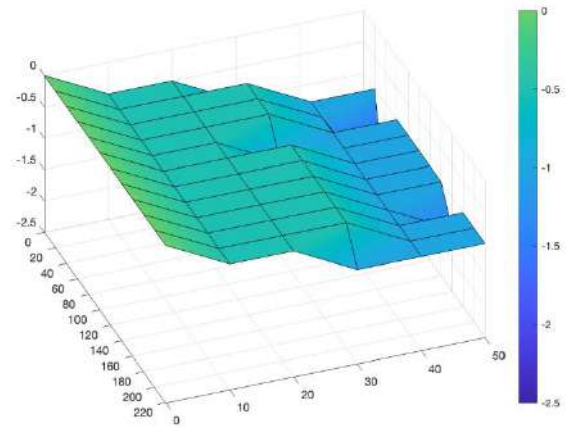


図 9 蒲井浜海水浴場 (右側) の水深 3D マップ

A.2 箱石浜海水浴場

箱石浜は, 中央の岩場の左側と右側で海底の様相が異なるので, 2 つに分けて議論するのが適切である. 箱石浜の左側と右側の測深データはそれぞれ以下のように行列形式でまとめられる.

$$\begin{aligned}
 z_{\text{箱石左}} &= \begin{bmatrix} 0.0 & 1.0 & 1.5 & 2.0 & 2.5 & 2.5 \\ 0.0 & 1.0 & 2.0 & 2.0 & 2.5 & 2.5 \\ 0.0 & 1.0 & 1.5 & 2.0 & 2.5 & 2.5 \\ 0.0 & 1.0 & 1.5 & 2.0 & 2.0 & 2.5 \\ 0.0 & 1.0 & 1.5 & 2.0 & 2.0 & 2.5 \\ 0.0 & 1.0 & 1.5 & 2.0 & 2.5 & 2.5 \\ 0.0 & 1.0 & 1.5 & 2.0 & 2.0 & 2.5 \\ 0.0 & 1.0 & 1.5 & 2.0 & 2.0 & 2.5 \\ 0.0 & 1.0 & 1.0 & 1.5 & 1.5 & 2.0 \\ 0.0 & 0.5 & 1.5 & 1.5 & 2.0 & 2.5 \\ 0.0 & 0.5 & 1.0 & 1.0 & 1.5 & 1.5 \end{bmatrix} \in \mathbb{R}^{12 \times 6}, \\
 z_{\text{箱石右}} &= \begin{bmatrix} 0.0 & 1.5 & 2.0 & 1.5 & 2.5 & 2.5 \\ 0.0 & 1.5 & 2.0 & 1.5 & 2.0 & 2.0 \\ 0.0 & 1.5 & 1.5 & 1.5 & 1.5 & 2.0 \\ 0.0 & 1.5 & 2.0 & 1.5 & 2.0 & 2.5 \\ 0.0 & 1.5 & 2.0 & 2.0 & 2.5 & 2.5 \\ 0.0 & 1.5 & 2.0 & 2.0 & 2.0 & 3.0 \\ 0.0 & 1.5 & 1.0 & 1.5 & 2.0 & 2.5 \\ 0.0 & 1.0 & 1.0 & 2.0 & 1.5 & 2.5 \\ 0.0 & 1.0 & 1.5 & 2.0 & 2.0 & 2.5 \\ 0.0 & 1.5 & 2.0 & 2.0 & 2.0 & 2.5 \\ 0.0 & 1.5 & 1.5 & 2.0 & 2.0 & 2.5 \\ 0.0 & 1.5 & 1.5 & 2.0 & 2.5 & 2.5 \\ 0.0 & 1.5 & 1.5 & 2.0 & 2.5 & 2.5 \end{bmatrix} \in \mathbb{R}^{13 \times 6}.
 \end{aligned}$$

これらの行列から作成される箱石浜の水深 3D マップは図 10, 図 11 となる.

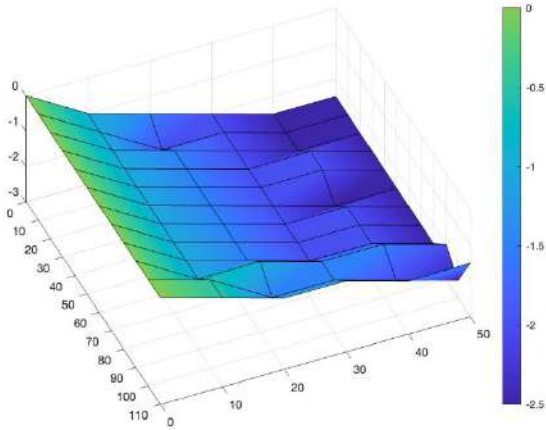


図10 箱石浜海水浴場（左側）の水深3Dマップ

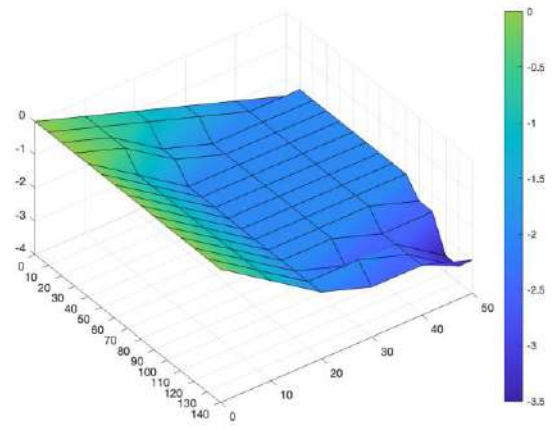


図12 八丁浜海水浴場の水深3Dマップ

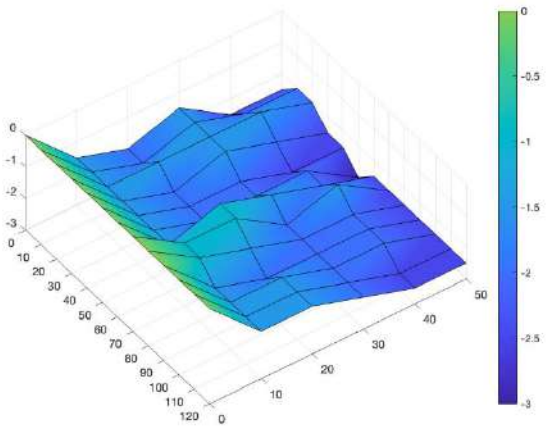


図11 箱石浜海水浴場（右側）の水深3Dマップ

A.4 小浜海水浴場

得られた測深データ行列は

$$z_{\text{小浜}} = \begin{bmatrix} 0.0 & 1.0 & 1.5 & 1.5 & 1.5 & 1.5 \\ 0.0 & 1.0 & 1.0 & 1.5 & 1.0 & 1.0 \\ 0.0 & 0.5 & 1.0 & 1.0 & 1.0 & 1.0 \\ 0.0 & 0.5 & 1.0 & 1.5 & 1.5 & 1.5 \\ 0.0 & 1.0 & 1.5 & 3.0 & 1.5 & 2.0 \\ 0.0 & 1.5 & 1.5 & 1.0 & 1.5 & 2.0 \\ 0.0 & 0.5 & 1.0 & 1.0 & 1.0 & 1.5 \\ 0.0 & 0.5 & 1.0 & 1.0 & 1.5 & 2.0 \\ 0.0 & 0.5 & 0.5 & 1.0 & 1.5 & 2.0 \\ 0.0 & 0.5 & 0.5 & 1.5 & 2.0 & 2.0 \\ 0.0 & 0.5 & 0.5 & 1.5 & 2.0 & 2.5 \\ 0.0 & 0.5 & 0.5 & 1.5 & 2.0 & 2.5 \\ 0.0 & 0.5 & 0.5 & 1.5 & 2.0 & 2.5 \\ 0.0 & 0.5 & 1.0 & 1.5 & 1.5 & 2.0 \\ 0.0 & 0.5 & 0.5 & 1.0 & 1.5 & 2.0 \\ 0.0 & 0.5 & 0.5 & 1.0 & 1.5 & 1.5 \\ 0.0 & 0.5 & 0.5 & 1.0 & 1.5 & 1.5 \end{bmatrix} \in \mathbb{R}^{17 \times 6}$$

なので、水深3Dマップは図13となる。

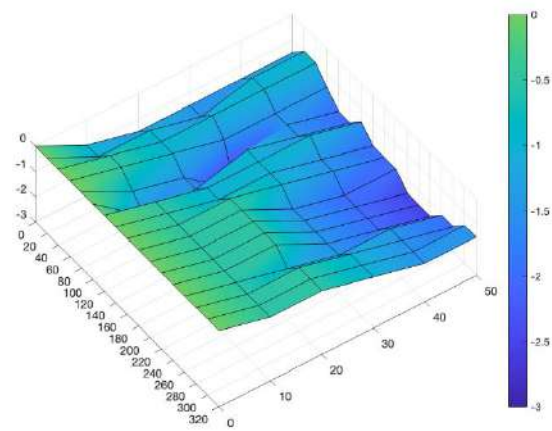


図13 小浜海水浴場の水深3Dマップ

A.3 八丁浜海水浴場

得られた測深データ行列は

$$z_{\text{八丁浜}} = \begin{bmatrix} 0.0 & 0.5 & 1.0 & 1.5 & 2.0 & 2.5 \\ 0.0 & 0.5 & 1.0 & 1.5 & 2.0 & 2.0 \\ 0.0 & 0.5 & 1.5 & 2.0 & 2.0 & 2.0 \\ 0.0 & 0.5 & 1.5 & 2.0 & 2.0 & 2.0 \\ 0.0 & 1.0 & 2.0 & 2.0 & 2.0 & 2.0 \\ 0.0 & 1.0 & 2.0 & 2.0 & 2.0 & 2.0 \\ 0.0 & 1.0 & 2.0 & 2.0 & 2.0 & 2.0 \\ 0.0 & 1.0 & 2.0 & 2.0 & 2.0 & 2.0 \\ 0.0 & 1.0 & 2.0 & 2.0 & 2.0 & 2.0 \\ 0.0 & 1.0 & 2.0 & 2.0 & 2.0 & 2.5 \\ 0.0 & 1.0 & 2.0 & 2.0 & 2.5 & 2.5 \\ 0.0 & 1.0 & 2.0 & 2.5 & 2.5 & 3.5 \\ 0.0 & 1.0 & 2.0 & 2.0 & 2.5 & 3.5 \\ 0.0 & 1.0 & 2.0 & 2.5 & 2.5 & 3.0 \end{bmatrix} \in \mathbb{R}^{15 \times 6}$$

なので、水深3Dマップは図12となる。

A.5 琴引浜掛津海水浴場

得られた測深データ行列は

$$Z_{\text{琴引掛}} = \begin{bmatrix} 0.0 & 1.5 & 2.5 & 2.5 & 2.0 & 4.0 \\ 0.0 & 1.5 & 1.5 & 2.0 & 2.5 & 3.0 \\ 0.0 & 1.5 & 2.0 & 2.0 & 2.0 & 3.5 \\ 0.0 & 1.5 & 2.0 & 2.5 & 2.5 & 3.0 \\ 0.0 & 1.5 & 2.0 & 2.5 & 2.5 & 2.5 \\ 0.0 & 1.5 & 2.0 & 1.5 & 1.0 & 2.0 \\ 0.0 & 1.0 & 1.0 & 1.0 & 1.0 & 1.5 \\ 0.0 & 1.0 & 1.5 & 1.5 & 1.5 & 2.0 \\ 0.0 & 1.0 & 1.5 & 1.5 & 1.5 & 2.0 \\ 0.0 & 1.0 & 1.5 & 1.5 & 2.0 & 2.0 \\ 0.0 & 1.0 & 1.5 & 1.5 & 2.0 & 2.0 \\ 0.0 & 1.0 & 2.0 & 2.0 & 2.5 & 2.5 \end{bmatrix} \in \mathbb{R}^{14 \times 6}$$

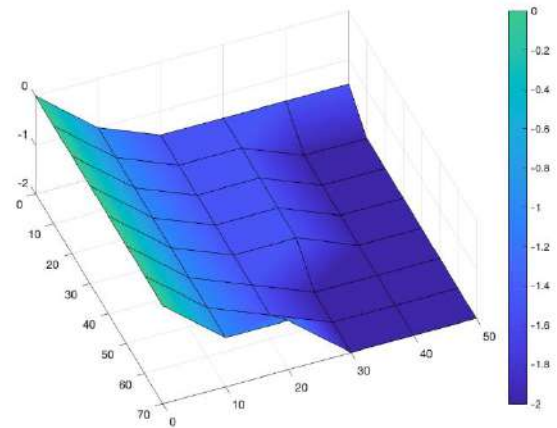


図 15 琴引浜遊海水浴場の水深 3D マップ

なので、水深 3D マップは図 14 となる。

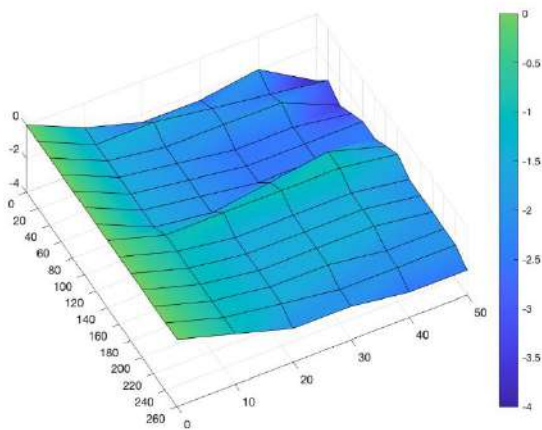


図 14 琴引浜掛津海水浴場の水深 3D マップ

A.6 琴引浜遊海水浴場

得られた測深データ行列は

$$Z_{\text{琴引遊}} = \begin{bmatrix} 0.0 & 1.0 & 1.5 & 1.5 & 1.5 & 1.5 \\ 0.0 & 1.0 & 1.5 & 1.5 & 2.0 & 2.0 \\ 0.0 & 1.0 & 1.5 & 1.5 & 2.0 & 2.0 \\ 0.0 & 1.0 & 1.5 & 1.5 & 2.0 & 2.0 \\ 0.0 & 1.0 & 1.5 & 1.5 & 2.0 & 2.0 \\ 0.0 & 1.0 & 1.5 & 2.0 & 2.0 & 2.0 \\ 0.0 & 1.0 & 1.5 & 2.0 & 2.0 & 2.0 \\ 0.0 & 1.0 & 1.0 & 2.0 & 2.0 & 2.0 \end{bmatrix} \in \mathbb{R}^{8 \times 6}$$

なので、水深 3D マップは図 15 となる。

A.7 砂方海水浴場

得られた測深データ行列は

$$Z_{\text{砂方}} = \begin{bmatrix} 0.0 & 0.5 & 0.5 & 1.0 & 2.0 & 1.0 \\ 0.0 & 0.5 & 0.5 & 0.5 & 1.5 & 1.0 \\ 0.0 & 0.5 & 0.5 & 0.5 & 2.0 & 2.0 \\ 0.0 & 0.5 & 1.0 & 0.5 & 0.5 & 2.0 \\ 0.0 & 0.5 & 0.5 & 1.5 & 1.0 & 2.0 \\ 0.0 & 0.5 & 1.5 & 1.5 & 2.0 & 2.5 \\ 0.0 & 0.5 & 1.5 & 2.0 & 0.5 & 0.5 \\ 0.0 & 0.5 & 1.0 & 1.5 & 0.5 & 0.5 \\ 0.0 & 0.5 & 1.0 & 1.5 & 0.5 & 0.5 \end{bmatrix} \in \mathbb{R}^{9 \times 6}$$

なので、水深 3D マップは図 16 となる。

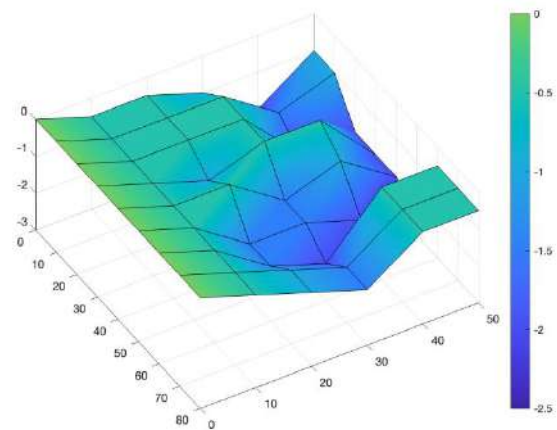
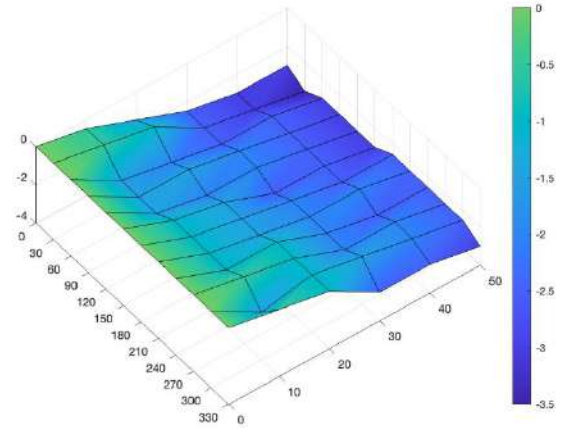


図 16 砂方海水浴場の水深 3D マップ

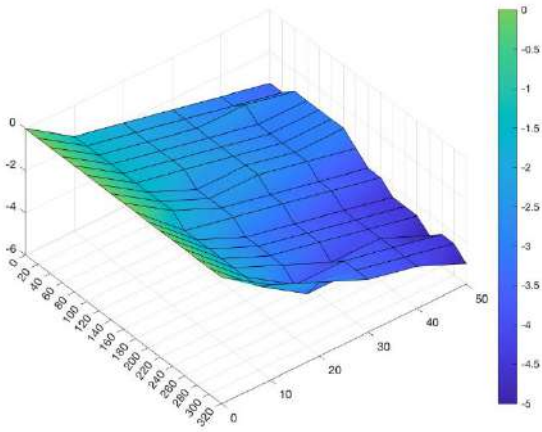
A.8 竹野海水浴場

得られた測深データ行列は

$$z_{\text{竹野}} = \begin{bmatrix} 0.0 & 1.5 & 2.0 & 2.5 & 3.0 & 3.5 \\ 0.0 & 1.5 & 2.0 & 2.5 & 3.0 & 3.5 \\ 0.0 & 1.5 & 2.0 & 2.5 & 2.5 & 3.0 \\ 0.0 & 1.5 & 2.0 & 2.5 & 3.0 & 3.0 \\ 0.0 & 1.5 & 2.0 & 2.5 & 3.0 & 3.0 \\ 0.0 & 1.5 & 2.0 & 2.5 & 3.0 & 3.0 \\ 0.0 & 1.5 & 2.5 & 2.5 & 3.0 & 3.0 \\ 0.0 & 1.5 & 2.5 & 2.5 & 3.0 & 3.5 \\ 0.0 & 1.5 & 2.5 & 3.0 & 3.5 & 4.0 \\ 0.0 & 2.0 & 2.5 & 3.0 & 3.5 & 4.0 \\ 0.0 & 2.0 & 3.0 & 3.5 & 4.0 & 4.5 \\ 0.0 & 2.0 & 3.0 & 3.5 & 4.0 & 4.5 \\ 0.0 & 2.0 & 3.0 & 4.0 & 4.0 & 5.0 \\ 0.0 & 2.0 & 3.5 & 3.5 & 4.0 & 4.5 \\ 0.0 & 2.0 & 3.5 & 3.5 & 4.0 & 4.5 \\ 0.0 & 1.5 & 2.5 & 3.5 & 4.0 & 5.0 \end{bmatrix} \in \mathbb{R}^{17 \times 6}$$


なので、水深 3D マップはと図 17 となる。

図 18 高嶋海水浴場の水深 3D マップ



A.10 久借海水浴場

得られた測深データ行列は

$$z_{\text{久借}} = \begin{bmatrix} 0.0 & 1.5 & 2.0 & 2.0 & 2.5 & 2.5 \\ 0.0 & 1.5 & 1.5 & 2.0 & 2.0 & 2.5 \\ 0.0 & 1.5 & 2.0 & 2.5 & 3.0 & 3.0 \\ 0.0 & 1.5 & 2.0 & 2.5 & 3.0 & 3.0 \\ 0.0 & 1.5 & 2.0 & 2.5 & 2.5 & 2.5 \\ 0.0 & 1.5 & 2.0 & 2.5 & 2.5 & 3.0 \\ 0.0 & 1.0 & 1.5 & 2.0 & 3.0 & 3.5 \\ 0.0 & 1.5 & 2.0 & 2.5 & 2.5 & 3.0 \\ 0.0 & 1.5 & 2.5 & 3.0 & 3.0 & 3.0 \end{bmatrix} \in \mathbb{R}^{9 \times 6}$$

なので、水深 3D マップは図 19 となる。

図 17 竹野海水浴場の水深 3D マップ

A.9 高嶋海水浴場

得られた測深データ行列は

$$z_{\text{高嶋}} = \begin{bmatrix} 0.0 & 0.5 & 1.5 & 2.5 & 3.0 & 3.0 \\ 0.0 & 0.5 & 1.0 & 2.5 & 3.0 & 3.5 \\ 0.0 & 1.5 & 2.0 & 2.5 & 2.5 & 3.0 \\ 0.0 & 1.5 & 1.5 & 2.0 & 2.5 & 3.0 \\ 0.0 & 1.5 & 2.0 & 2.0 & 2.5 & 3.0 \\ 0.0 & 1.0 & 1.5 & 2.5 & 2.5 & 3.0 \\ 0.0 & 1.0 & 1.5 & 2.0 & 2.5 & 2.5 \\ 0.0 & 1.0 & 1.5 & 2.0 & 2.0 & 2.5 \\ 0.0 & 1.0 & 1.0 & 2.0 & 2.5 & 2.5 \\ 0.0 & 0.5 & 1.0 & 2.0 & 2.0 & 2.5 \\ 0.0 & 1.5 & 1.0 & 1.5 & 2.0 & 2.5 \\ 0.0 & 0.5 & 1.0 & 2.5 & 2.5 & 3.0 \end{bmatrix} \in \mathbb{R}^{12 \times 6}$$

なので、水深 3D マップは図 18 となる。

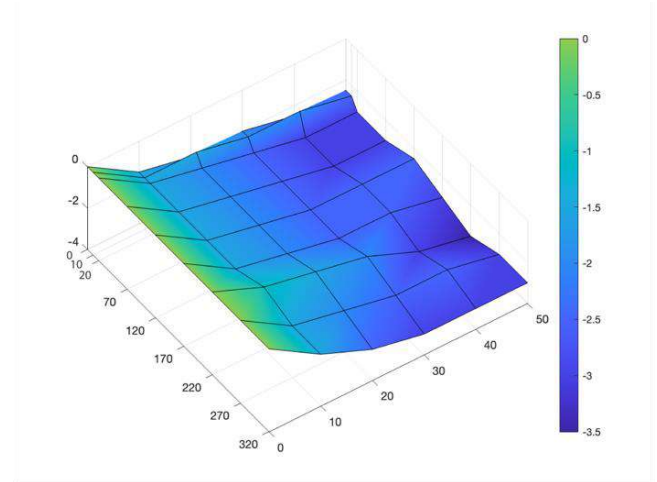


図 19 久借海水浴場の水深 3D マップ

A.11 中浜海水浴場

得られた測深データ行列は

$$z_{\text{中浜}} = \begin{bmatrix} 0.0 & 1.0 & 1.5 & 1.5 & 1.5 & 2.0 \\ 0.0 & 1.0 & 1.5 & 1.5 & 1.5 & 2.0 \\ 0.0 & 1.0 & 1.5 & 1.5 & 2.5 & 3.0 \\ 0.0 & 1.0 & 1.5 & 2.0 & 0.0 & 3.0 \\ 0.0 & 1.0 & 1.5 & 1.5 & 0.0 & 2.5 \\ 0.0 & 1.0 & 1.5 & 0.0 & 2.5 & 2.5 \\ 0.0 & 1.0 & 2.0 & 2.5 & 2.0 & 2.0 \\ 0.0 & 1.5 & 2.0 & 2.5 & 2.5 & 2.5 \\ 0.0 & 1.0 & 2.5 & 3.0 & 2.5 & 2.5 \end{bmatrix} \in \mathbb{R}^{9 \times 6}$$

である。ここで、(4,5)成分、(5,5)成分、(6,4)成分の値が 0.0m である理由は、その部分にテトラポッドが積まれているためである。水深 3D マップは図 20 となる。

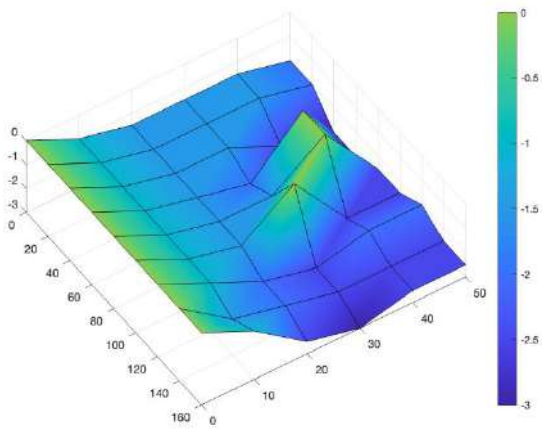


図 20 中浜海水浴場の水深 3D マップ

Characteristic Analysis of Depth Changes in Kyotango City Beaches

Masato SHINJO^{†1} Kojiro SATO^{†2} Keita TAKEUCHI^{†3} Masashi IWASAKI^{†3}

Abstract: In recent years, local governments have been promoting tourism by making great use of regional characteristics. Kyotango City in Kyoto Prefecture makes use of the beautiful sea of Japan to focus on attracting visitors for leisure and sightseeing. However, since there are 15 beaches in Kyotango City, we cannot easily grasp the appealing point of each, much less provide them. In this paper, to grasp water depth changes in Kyotango's beaches, we first describe how to gather the data needed to visualize changes in water depth at Kyotango's beaches and to generate 3D water depth map based on the gathered data. We next demonstrate that the singular value decomposition of matrices composed of gathered data can be used to clarify the complexity of water depth changes and the similarity among them.

Keywords: Kyotango City, Beach, Water depth map, Singular value decomposition, Characteristic analysis

^{†1} Osaka Seikei University (Correspondence Author: shinjo@osaka-seikei.ac.jp)
^{†2} Doshisha University
^{†3} Kyoto Prefectural University