

# AIを用いた海岸利用の安全性向上に関する研究

## Study on improvement of beach safety using AI

19N3100019I 島田 良 (生命・健康科学研究室)  
Ryo SHIMADA/ Life and Health Science Lab.

**Key Words** : rip current, Covid-19, beach safety, lifesaver, beach user, AI

### 1. はじめに

わが国の多くの海水浴場では、ライフセーバーによる監視救助活動が行われており、毎シーズン2000~3000件のレスキューが行われている<sup>1)</sup>。溺水事故の主要因は離岸流であり(図-1)、離岸流事故が1シーズンで300件程度の海水浴場もあり<sup>2)</sup>、離岸流事故の発生件数が多い際は、海岸利用者数も多いことが報告されている<sup>3)</sup>。事故防止には十分な安全管理が求められるが、繁忙期には数万人の利用者に対し数十人のライフセーバーで監視活動を行っていることから、溺水事故を完全に防ぐことは難しい。一方、2020年3月以降、世界各国で新型コロナウイルス(Covid-19)が流行し、感染拡大防止のひとつの方法として、人の密集を回避することが有効とされた。そのため、2020年夏季は全国約40%の海水浴場が不開設(海上保安庁調べ)となり、ライフセーバーが配置された海水浴場は前年比49%(日本ライフセービング協会調べ)であった。しかし、海岸は自由使用の場であり、利用規制が難しく、海水浴場不開設であっても地域によっては多くの利用者が訪れた(図-2)。Covid-19の感染収束がみえないなかでは、2021年夏季についても2020年と同様な状況になることが予想される。限られたリソースの中で、海辺での溺水事故とCovid-19感染拡大を防ぎ、海岸利用における安全性を向上させるためには、ライフセーバーによる効率の良い監視救助活動、利用者自身でのリスク管理が求められ、そのためには、定量的な情報の提供が必要である。

本研究は、海水浴場に設置された定点カメラの撮影

画像から、AIを用いて利用者を検知し、利用者数の増減と離岸流エリアへの人立入りの関係性について定量的に分析を行った[研究1]。さらに、人の密の状態を定量的に調べる方法を開発し、2019年とCovid-19危機下であった2020年の夏季の海岸利用状況の変化を調べた[研究2]。

### 2. 海岸利用者数と離岸流への人立入りの関係性の分析[研究1]

#### (1) 方法

対象海岸は、海岸の両側に岬、漁港が位置する地形特性から離岸流が発生しやすいとされる御宿中央海水浴場とした。この海水浴場には3つのカメラが設置されており、1秒間に約3枚の画像が保存されている(図-3)。分析に用いたデータは、2019年8月8日~31日の遊泳期間中における2台のカメラ(cam01, 02、遊泳区域外のサーファーが検知されるcam03は対象外とした)による約680万枚の撮影画像とした。対象期間中には度々高波浪が来襲し、遊泳禁止となったことから、これら



図-2 2020年度夏季海岸利用状況

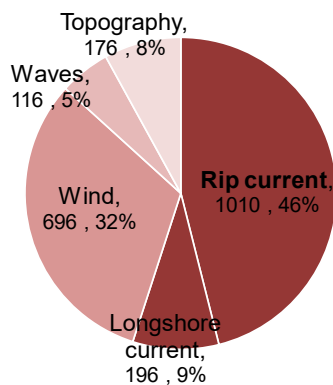


図-1 溺水事故の主要因<sup>1)</sup>

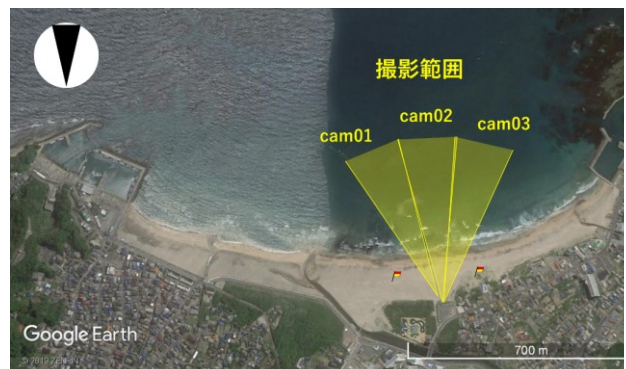


図-3 御宿中央海水浴場とカメラ設置位置

の日時の画像は分析対象から除外した(図4)。まず、画像から物体を検知可能なオープンソースであるYOLOv3<sup>4)</sup>を用いて、撮影範囲内の利用者数を算出可能なAI環境を開発し、5分毎の利用者数を算出した(図5、6)。算出結果の妥当性を確かめるため、1つのカメラ毎にランダムに選出した30枚の画像に対して、YOLOv3が検知した人数と人が目視でカウントした人数との相関分析を行った(図7)。次に、溺水事故防止と早期救助救命を目的として対象海岸で運用されている離岸流検知システム<sup>5)</sup>の検知ログデータから、離岸流発生エリ

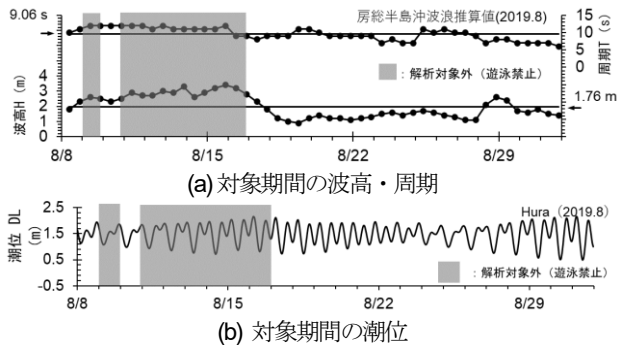


図4 対象期間中の波浪と潮位



図5 YOLOv3による物体の検知例

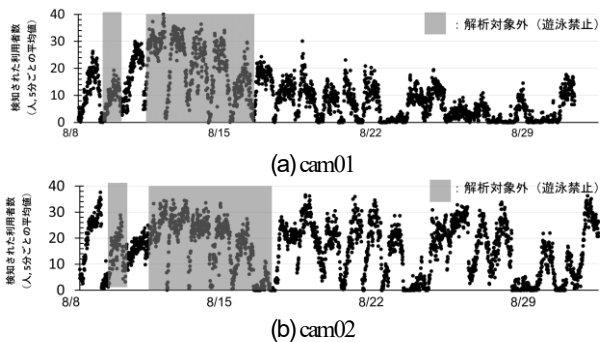


図6 検知された利用者数の経時変化(5分毎の平均値)

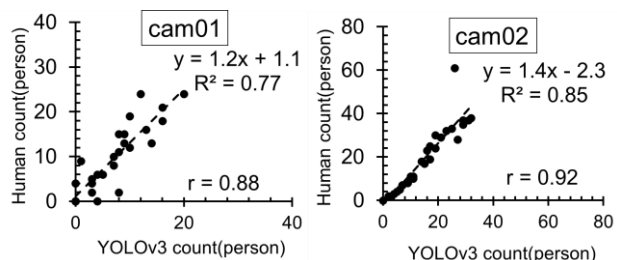


図7 人間が目視で数えた人数と、AIモデルが検知した人数との相関分析結果

アへの人立ち入り検知件数を調べ(図8)、利用者数との関係について統計解析を行った。なお、ライフセーバーへのアンケート調査によれば、2019年の海水浴場開設期間中におけるシステムの離岸流発生エリアへの人立ち入り検知の精度は80%であった<sup>5)</sup>。

## (2) 結果と考察

本研究では、YOLOv3を用いて海岸画像から利用客数を算出し、人が目視でカウントした人数との相関分析の結果、有意な強い相関がみられ、cam01では1.2倍に1を足した数、cam02では1.4倍に2を引いた数で、実際にカメラ内に映っている利用者数を算出できることが示唆された(図7)。離岸流エリアへの人の立ち入り有無によって、海岸利用者数に差があるのかを調べるため、対応のないt検定を行った結果、cam01、02ともに有意な差がみられ、離岸流エリアへの人立ち入り有の群の方が、利用者数が多いという結果になった(図9)。離岸流エリアへの人の立ち入り有無と利用者数の関係を明らかにするため、2項ロジスティック回帰分析を行った結果、モデルは有意であり、図10に示す関係式で表されることがわかった。例えば、検知された利用者数が10人から20人になると、離岸流エリアへの人立ち入りの確率がcam01では約5%、cam02では約6%上昇することが示唆された。

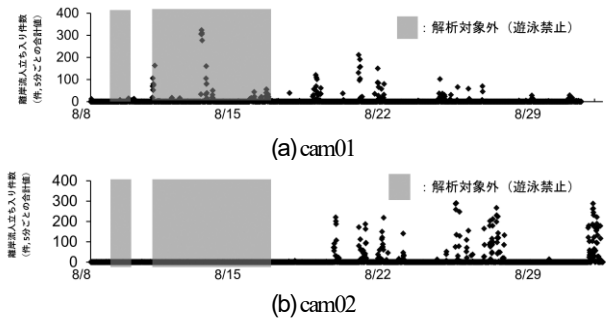


図8 離岸流人立ち入り件数の経時変化(5分毎の合計値)

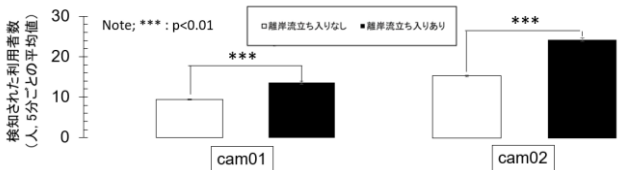


図9 離岸流人立ち入り有無による利用者数の平均値の差

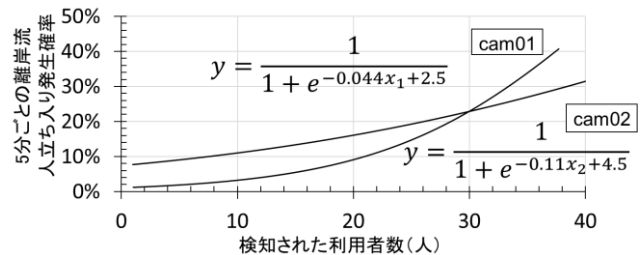


図10 離岸流人立ち入り有無と検知された利用者数の2項ロジスティック回帰分析結果

### 3. Covid-19危機下における海岸利用状況の変化について [研究2]

#### (1) 方法

分析に用いたデータは、[研究1]と同じ対象海岸とし(図-3)、海水浴場が開設されていた2019年と不開設であった2020年の8月1日~31日の7:00~18:00に撮影された約1,500万枚の画像(cam01, 02)とした。この画像データを用いてAIにより利用者数を算出し、人の密の状態を解析した。密の状態の解析では、まずカメラの撮影範囲において、汀線に対し垂直な1辺5mのグリッドを示すマーカーを砂浜に設置し、マーカーをつないだ4隅(A<sub>1</sub>, B<sub>1</sub>, C<sub>1</sub>, D<sub>1</sub>)からなる面をO<sub>1</sub>と定義した(図-11)。次に、直線A<sub>1</sub>B<sub>1</sub>, C<sub>1</sub>D<sub>1</sub>を用いて一点透視図法における消失点Eを求め、直線A<sub>1</sub>D<sub>1</sub>, B<sub>1</sub>C<sub>1</sub>を上端下端とする1辺2mのグリッドを作成し、直線A<sub>1</sub>D<sub>1</sub>, B<sub>1</sub>C<sub>1</sub>上のA<sub>2</sub>, B<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>, D<sub>2</sub>を4隅とした面をO<sub>2</sub>と定義した(図-12)。すべての画像に対し、AIモデルを用いて人を検出し、検出した矩形の幅の中央、高さの最小値から足の座標(x, y)を求めた(図-13)。足の座標は、A<sub>2</sub>, B<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>, D<sub>2</sub>を基準とする透視変換 $\eta$ によって2mグリッド上での座標に変換し、同じ画像内で検知されたn人に対して、すべての組合せで人と人の間隔を計測した(図-14)。間隔が2m未満であった場合は「密」と定義し、両者の足の位置のグリッド(行、列)を記録した(図-14)。同様の解析を対象期間すべての画像で行い、人の「密」の発生頻度の平面分布を算出した。

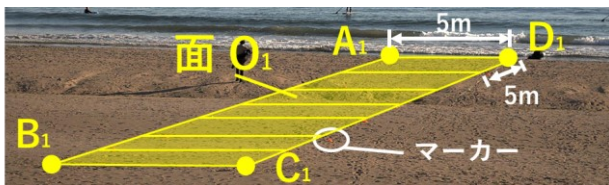


図-11 マーカー位置と面O<sub>1</sub>、点A<sub>1</sub>、B<sub>1</sub>、C<sub>1</sub>、D<sub>1</sub>の定義

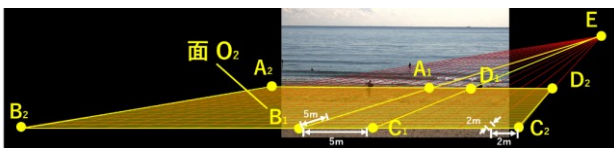


図-12 一点透視図法による2mグリッドと面O<sub>2</sub>、点A<sub>2</sub>、B<sub>2</sub>、C<sub>2</sub>、D<sub>2</sub>の定義

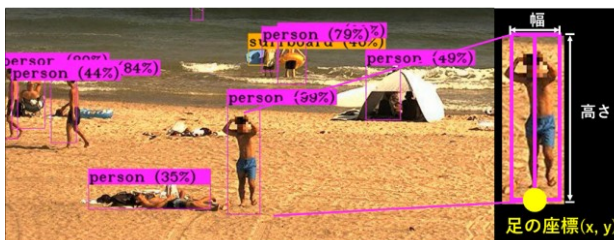


図-13 AIによる人検知例と足の座標算出方法

#### (2) 結果と考察

2019年と海水浴場不開設の2020年の海岸利用者数を比べると、cam01の撮影範囲では計27日間で増加し、最大28人の増加がみられた(図-15(a))。一方、cam02では計19日間減少し、最大計18人の減少がみられた(図-15(b))。1日の利用者数のピークは、cam01, 02ともに2019年は13:00であったが、2020年は14:00に変化した(図-16(a)(b))。人の「密」の発生頻度の分布について、期間中の人の「密」であった頻度が6%以上の箇所は、cam01では2019年は存在せず、2020年は右中央から左中央にかけて最大11%の分布がみられた。このことから、2020年の方が「密」の発生範囲は広く、頻度も高かった

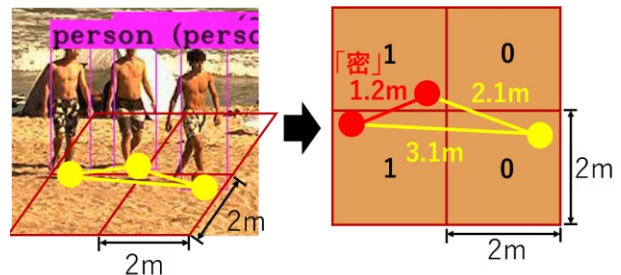


図-14 座標変換と人と人の間隔の算出方法

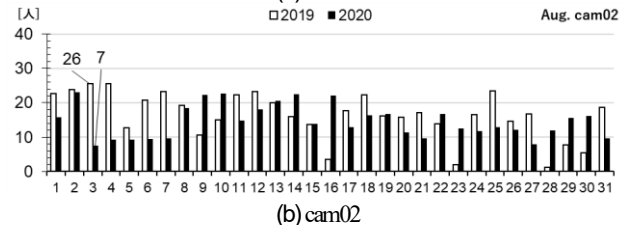
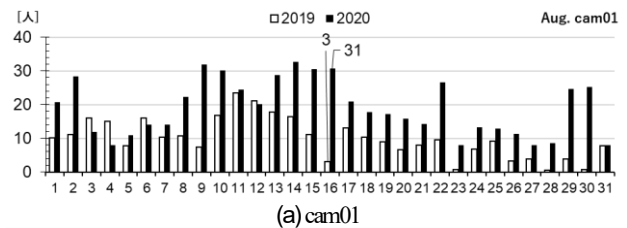


図-15 期間中の海岸利用者数の変化(日平均)

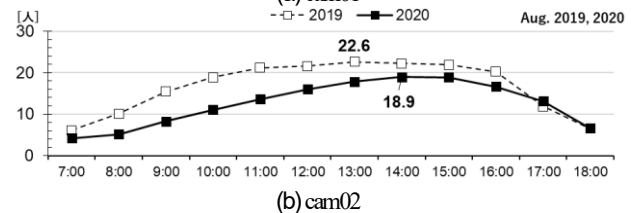
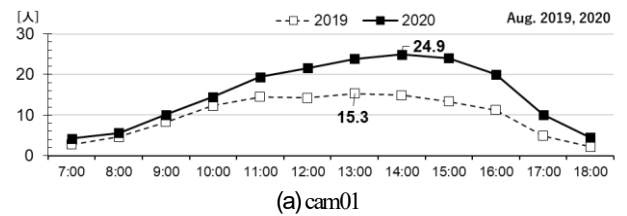


図-16 1日の海岸利用者数の変化(時間平均)

ことが分かった (図-17(a))。一方、cam02 では 2019 年では画面奥、右中央と左下で最大 10%、2020 年では左下に最大 11% の分布がみられたことから、2020 年の方が「密」の発生範囲は狭く、最大頻度に大きな差はなかったことが分かった (図-17(b))。これらの結果は、先に述べたように利用者数の増減が影響していると考えられるが、Covid-19 感染危機下の 2020 年でも「密」の状態が確認されたことは注意すべき点である。

#### 4. おわりに

[研究 1] では、海水浴場の定点カメラによる撮影画像から、AI を用いて利用者数の経時変化を算出し、利用者数の増減による離岸流発生エリアへの人立ち入りの関係性を統計解析によって調べた。この結果、離岸流エリアへの人立ち入り有無と利用者数の関係は、離岸流エリアへの人立ち入り有の群の方が、利用者数が多いことが分かった。AI モデルによる利用者数と人が目視でカウントした利用者数との関係式と、2 項ロジスティック回帰分析による離岸流エリアへの人の立ち入り確率と利用者数の関係式により、利用者数の増減による離岸流エリアへの立ち入り確率を示し、利用者数と離岸流エリアへの人立ち入りの関係性について一定の成果を得ることができた。

[研究 2] では、海水浴場の定点カメラによる撮影画像から、AI を用いて人の密の状態を定量的に調べる方法を開発し、2019 年と Covid-19 危機下であった 2020 年の夏季の海岸利用状況の変化を調べた。その結果、Covid-19 危機前後において、利用客数は、cam01 の撮影範囲では増加傾向に、cam02 では減少傾向にあり、1 日のピークは、cam01、02 ともに 13:00 から 14:00 に変化したことがわかった。また、Covid-19 危機前後における人

の「密」の発生頻度の分布について、cam01 では「密」の発生範囲が広く、頻度も高くなり、cam02 では「密」の発生範囲が狭くなり、最大頻度に大きな差はなかったことが分かった。

本研究手法を用いれば、ライフセーバーや海岸利用者は、利用者数による離岸流への立ち入り発生確率と、人の「密」の状態が海水浴場のどこで起きやすいかについて定量的に把握することができる。具体的には、ライフセーバーは、シフトや監視体制を適切に設定することや、声掛けの際の注視すべき点を把握することなど、より効率の良い監視活動に役立てることができる。また利用者は、海水浴場に行くか否かの判断や、海水浴場にいる際には、利用者数の増減によつての離岸流立ち入り、また人の「密」の状態となっている箇所についてのリスクを適切に認知できる。

一方、日本ライフセービング協会は溺水事故防止、早期救助救命を目的として、AI と IoT を活用した「海辺のみまもりシステム」を 2021 年現在全国 3 か所に展開している<sup>9)</sup>。このシステムに本研究手法を適用することで、リアルタイムで海水浴場の利用者数、利用者数による離岸流への立ち入り発生確率、人の「密」の発生箇所について、デジタルサイネージや、スマートフォンアプリを通じて情報を発信することができ、さらなる海岸の安全性向上につなげられると考えられる。

#### 参考文献

- 1) 石川仁憲, 風間隆宏, 中川儀英, 青木伸一, 田中秀治, 小峯力, 中川昭: 海水浴場における海岸利用者の安全性に関するリスク評価手法の提案, 土木学会論文 B3 (海洋開発), Vol. 72, No.2, I\_826-I\_831, 2016.
- 2) Ishikawa, T., Komine, T., Aoki, S. and Okabe, T.: Characteristics of Rip Current Drowning on the Shores of Japan, *Journal of Coastal Research, Special Issue 72*, pp. 44-49, 2014.
- 3) 島田良, 石川仁憲, 小峯力: 御宿中央海岸における離岸流事故発生特性の検討, 土木学会論文集 B3(海洋開発), Vol. 75, No.2, p. I\_695-I\_700, 2019.
- 4) Joseph Redmon and Ali Farhadi: YOLOv3: An Incremental Improvement, *Computer Vision and Pattern Recognition*, 2018.
- 5) 石川仁憲, 佐藤嘉亮, 島田良, 小峯力: AI による離岸流検知機能の検証, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. 75, No.2, p. I\_175-I\_180, 2019.
- 6) John Montague: Basic Perspective Drawing: A Visual Approach, *John Wiley & Sons, Incorporated*. 2009, p.14.
- 7) Richard Szeliski: Computer Vision: Algorithms and Applications, *Texts in Computer Science*. 2010, p.33-37.
- 8) 日本ライフセービング協会: 「2019 年度日本財団助成事業」, <https://ls.jla-lifesaving.or.jp/nippon-foundation-2019>, (参照 2021-02-04)

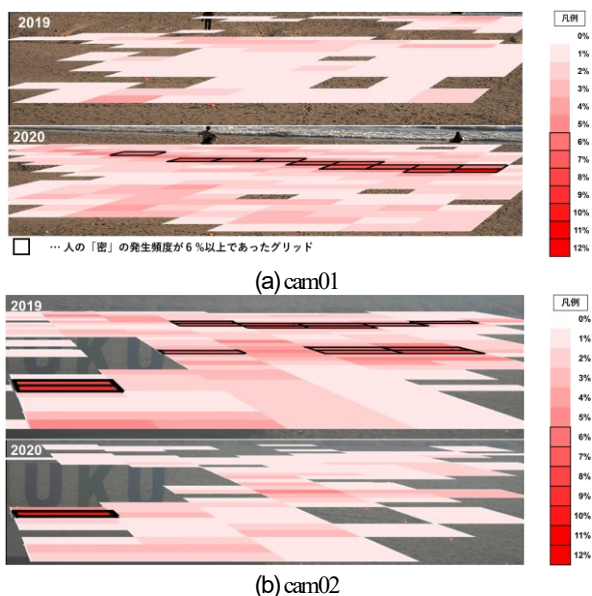


図-17 人の密集箇所の発生頻度分布 (8月平均)