

海との視覚的つながりを考慮した 最適居住地配置モデル分析

内生蔵 達也¹・中居 楓子²・大窪 和明³・秀島 栄三⁴

¹学生会員 名古屋工業大学 工学研究科創造工学プログラム
(〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町)
E-mail: t.uchiuzo.985@stn.nitech.ac.jp

²正会員 名古屋工業大学助教 工学研究科社会工学系プログラム (同上)
E-mail: nakai.fuko@nitech.ac.jp

³正会員 東北大学大学院准教授 国際文化研究科 (〒980-8576 宮城県仙台市青葉区川内 41)
E-mail: kazuaki.okubo.d5@tohoku.ac.jp

⁴正会員 名古屋工業大学教授 工学研究科社会工学系プログラム
(〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町)
E-mail: hideshima.eizo@nitech.ac.jp

津波防護施設の建設や、住居・公共施設等の高所移転は防災の観点からは効果的であるが、海との視覚的つながりを減少させてしまうこともある。一方、水辺が見えるまちは単に眺めが良いだけでなく、住民の水辺の視覚的つながりは、防災意識の向上につながる可能性が示唆されている。本研究では、都市における海との視覚的つながりを、標高データを用いた海辺の可視領域によって定量的に評価する枠組みを示す。本稿では、計算例として、津波リスクとインフラ維持費、通勤時間を考慮した居住地配置最適化モデルを用いて、その結果として得られた最適居住地配置における海との視覚的つながりを評価した。

Key Words: GIS, optimal residential area model, ocean view, viewshed analysis, tsunami

1. はじめに

津波防災地域づくりにおいてリスクを低減させる方法として、津波防護施設の建設や、住居・公共施設の高所移転といった手段が挙げられる。これらは、防災の観点からは効果的であるものの、高すぎる海岸堤防や内陸部への移転は、住民の海との視覚的つながりを減少させる場合もある。こうした課題に基づき、たとえば、女川町の眺望軸を考慮したまちづくりや気仙沼市の迎（ムカエル）といった東日本大震災からの復興事例では、防潮堤建設や高台移転にあたり、安全性だけでなく、海との視覚的つながりを重視した空間設計がなされた¹⁾。また、南海トラフ地震が想定されている黒潮町では、被災した後、復興の際に海が見えないようなまちにはしたくない、という住民の思いをきっかけとして、事前復興を見据えた防災集団移転促進事業の勉強会がおこなわれた²⁾。

水辺が見えるまちづくりは、単に眺めが良いだけでなく、防災意識を育てる可能性があることも指摘されて

いる。たとえば、三好ら³⁾は、山や森、川といった自然資本との日常的な関わりと防災意識の関係性に着目し、京都府宮津市上宮津地区を対象とした調査から、自然資本との日常的な関わりが多いほど、住民の防災意識が高くなることを示している。また、香川ら⁴⁾は、河川との視覚的つながりを Space Syntax 理論に基づいて定量化したうえで、河川に関する記憶の想起量との関係性に着目し、平成 30 年 7 月豪雨で被災した愛媛県大洲市、肱川の流域の住民を対象としたアンケート調査を行っている。その結果、浸水地域の住民は、河川への視覚的つながりが増すほど河川に関する記憶の想起量が多くなり、河川への愛着が高まることを示した。以上の既往研究を踏まえると、水辺が見えるということは、そこに住む人々と自然資本の日常的な関わりを増加させ、水辺への愛着・防災意識を育てる可能性があることが示唆される。

以上のように、水辺が見えるまちづくりはその重要性が認識されているものの、高台移転などを含む土地利用計画と眺望の関係に着目した評価事例はこれまでにない。

また、女川町のように中心市街地を対象とした取り組み例はあるものの、対象地域全体の景観を津波リスクの低減なども考慮しながら包括的に評価する方法は検討されていない。そこで、本研究では津波のリスクがあり、事前復興の取り組みも行われている高知県黒潮町を対象として、標高データを用いた可視領域の算出により、眺望を評価する方法を示す。

2. 視覚的つながりの定量化手法

本研究では、標高データを用いて、都市における海との視覚的つながりを定量的に評価する枠組みを示す。視覚的つながりの定量化にあたっては、数値標高モデルデータを用いて都市の各地点における海辺の可視領域（地形データ上、海を視認できる範囲）を求める。

n 個のメッシュに分割された地域を考え、対象地域沿岸部海上に m 個の観測点を等間隔に設定し、メッシュごとに海との視覚的つながり度合いの定量化を行う。あるメッシュ $i \in N = \{1, 2, \dots, n\}$ において、式(1)のように、便益の大きさとして享受する眺望の広さ P_i 、便益を享受する機会の頻度として眺望可能面積 A_i 、便益を享受する人々の数としてメッシュ人口 X_i 、これら3つの積を用いて、あるメッシュ i の海との視覚的つながり度合いを、視覚的つながり指標 V_i とした。

$$V_i = X_i A_i P_i = X_i \sum_{q \in Q} a_{qi} \quad (1)$$

眺望の広さ P_i はメッシュ i から視認できる海の範囲として定量化する（図-1）。まず、あるメッシュ i から海上の観測点 $q \in Q = \{1, 2, \dots, m\}$ が視認できるかを、二値変数 $p_{qi} = \{0, 1\}$ を用いて表現する。次に、観測点の集合 Q で p_{qi} の和を算出し、メッシュ i から視認できる海上の観測点 q の数 P_i を求めることができ、これを眺

望の広さとする（式(2)）。眺望の広さ P_i の値が大きい場合は、メッシュ i からはおおそ海の広い範囲が一望できる開けた眺望が得られるが、少なれば山の谷間などから海の一部が覗けるような状況と捉えることができる。

$$P_i = \sum_{q \in Q} p_{qi} \quad (2)$$

眺望可能面積 A_i は、海を視認できる場所の面積を用いて定量化する（図-1）。まず、メッシュ i のうち、海上の観測点 q が視認できる場所の面積を a_{qi} を算出する。さらに、観測点の集合 Q で a_{qi} の和を算出し、視認できる海上の観測点 q の数 P_i で除することで、メッシュ i において、海上の観測点 q が視認できる場合の視認できる場所の平均面積 A_i を求めることができる（式(3)）。これを眺望可能面積 A_i として、海との視覚的つながりの機会の多さを表す指標として扱う。眺望可能面積 A_i の値が大きい場合は、海が見える地域が多く存在するため、海を視認できる機会が増えるものとする。一方で値が小さい場合は、一部の地域でしか海を確認できないことから、日常的な海との視覚的つながりが少ない地域と捉えられる。

$$A_i = \frac{1}{P_i} \sum_{q \in Q} a_{qi} \quad (3)$$

以上の可視領域の計算に用いる地形データには、国土地理院の基盤地図情報ダウンロードサービスの数値標高モデルデータ（DEM）⁶を用いる。また、視認できる範囲の計算は、DEM をラスタデータに変換したうえで、GRASS GIS の `r.viewshed` コマンドを実行することで求める。海上の視認点は、日本海洋データセンターの 500m メッシュ水深データ⁷の座標データのうち、DEM データが整備されている範囲内のもののみ使った。

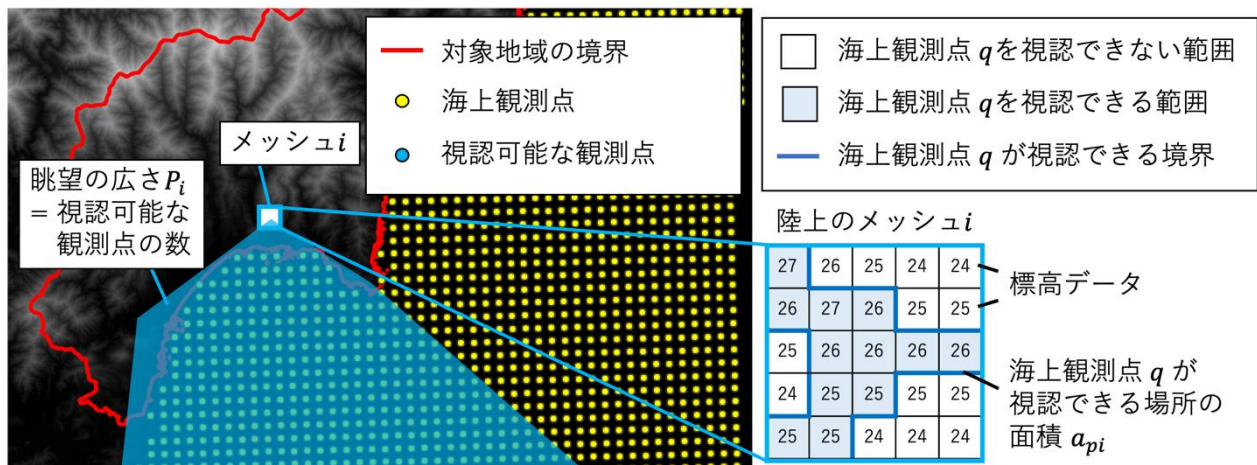


図-1 眺望の広さ P_i と眺望可能面積 A_i の概念図

3. 対象地域および先行研究

本研究では、沿岸部に産業や人口が分布しており、津波の被害が予想されている高知県黒潮町を対象に数値計算を行う。分析にあたって、はじめに黒潮町の標高データを用いて、 n 個のメッシュに分割された地域ごとの海との視覚的つながりを評価する。次に津波リスクの軽減による海との視覚的つながり指標の変化を示す。土地利用に関する政策の違いに応じた人口分布データとして、中居ら⁸⁾の居住地配置モデルの計算結果を用いる。

中居ら⁸⁾は、Okubo et al.⁹⁾をもとに、制御変数として各メッシュの土地の開発有無 S 、人口 X 、メッシュ間通勤人口 Z を考え、津波リスク、インフラ維持費、通勤時間を最小化する居住地配置モデルを定式化した。具体的には、津波リスク $D(X, Z)$ 、インフラ維持費 $E(S)$ 、通勤時間 $T(Z)$ を部分目的とし、それぞれ単体での最適値 D^*, S^*, T^* を他の部分目的を犠牲にした上で達成可能ポテンシャルとして扱う。そして、各部分目的を各最適値で除した値 $D(X, Z)/D^*, E(S)/S^*, T(Z)/T^*$ を低減ポテンシャルの達成度 (RPA : Reduction Potential Achievement) として、式(4) (中居ら⁸⁾より引用) のようにこれらの和を最小化する問題を考える。なお、居住地域配置計画において重視すべき部分目的を調節可能な枠組みとするため、非負の重み $\beta = \{\beta_d, \beta_e, \beta_t\}$ を考える。

$$\min_{S, X, Z} \beta_d RPA_d + \beta_e RPA_e + \beta_t RPA_t \quad (4a)$$

ただし、

$$RPA_d = \frac{D(X, Z)}{D^*} \quad (4a)$$

$$RPA_e = \frac{E(S)}{E^*} \quad (4b)$$

$$RPA_t = \frac{T(Z)}{T^*} \quad (4c)$$

$$\beta_d + \beta_e + \beta_t = 1 \quad (4d)$$

中居ら⁸⁾は、各部分目的の重み β を変化させたときの RPA 、人口分布の変化を分析している。本研究では、それらの結果のうち図-4 (a)-(e)に示す津波の部分目的 RPA_d の重み β_d を変化させたときに最適解となる人口分布を対象に、視覚的つながり指標 V_i を算出する。

中居ら⁸⁾によるモデルは、津波リスク等の観点から最適な居住地配置を示しており、その結果から物理的な海との距離がわかるものとなっている。しかし、居住地と海の間には、大きな松原や高い海岸堤防・盛土がある場合には海は見えず、日常的な海との関わりが少ない可能性がある。本研究は、これに対し、標高データを用いて地形も考慮した上で、居住地の配置と海の眺望の関係性を定量化し、そこに住む人々がどのような眺望を享受するかを検討する。

4. 結果および考察

(1) 眺望の広さと眺望可能面積の算出結果

黒潮町を対象に計算した各メッシュの眺望の広さ P を図-2に、眺望可能面積 A を図-3に示す。図-2より東部沿岸部と南端は眺望の広さ P が大きい地域が分布しており、中西部には中程度の眺望の広さ P の地域が広がる結果と

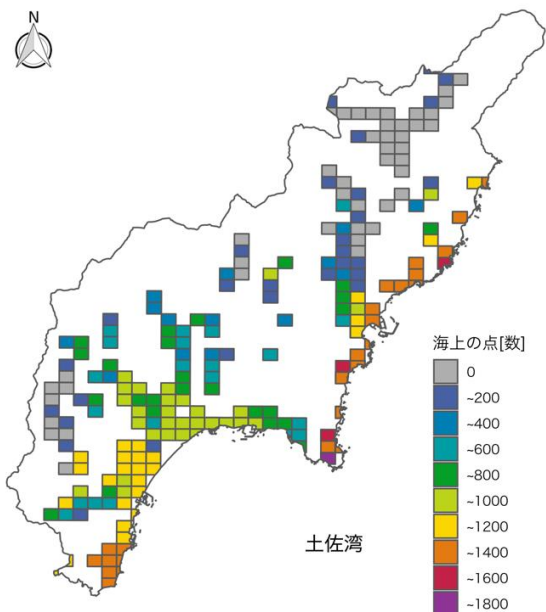


図-2 眺望の広さ P の分布

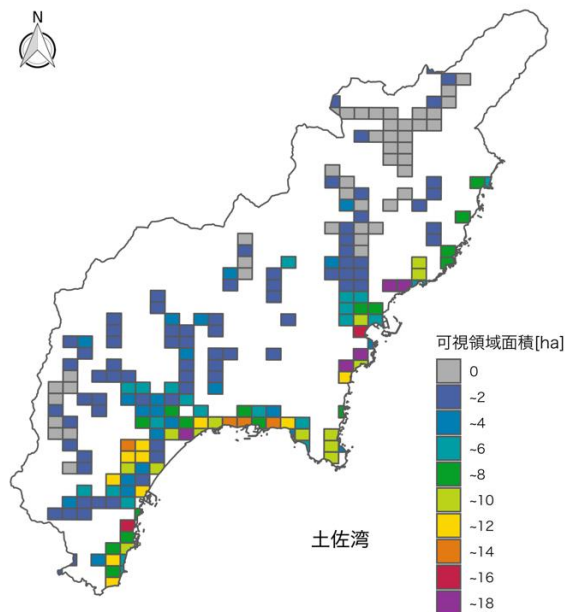


図-3 眺望可能面積 A の分布

なった。また、沿岸部から内陸部にかけて、段階的に値が小さくなる傾向にあった。図-3からは、眺望可能面積 A は眺望の広さ P の分布と異なり、空間的な分布が連続的でなく、まばらに値が変化する結果となった。しかし、内陸部では値が小さく、比較的大きな眺望可能面積 A の地域は沿岸部にしか存在しなかった。

(2) 津波リスクと視覚的つながりの関係性

中居ら⁸⁾の結果では、津波 RPA_d の重み β_d の値が大きくなるほど、居住地が山間部に分散していく傾向があることが分かっている (図-4 (a)-(e))。ここでは、式(5)のとおり、これらの居住地の分布 \mathbf{X} に応じて、海との視覚的つながり指標がどのように変化するかを分析した。

$$V(\mathbf{X}) = \sum_{i \in N} V_i \quad (5)$$

図-4 (f) の棒グラフに、津波 RPA_d の重み β_d を 0.1 から 0.9 に変化させたときのそれぞれの人口分布における視覚的つながり指標の値 $V(\mathbf{X})$ を示す。また、 β_d の値に応じた津波リスク、インフラ維持費、通勤時間の RPA の値を折れ線グラフで重ね合わせている。このグラフから、黒潮町においては、津波リスクを重視するほど、海との視覚的つながりが減少することがわかる。特に、津波

RPA_d の重みが $\beta_d \leq 0.4$ となる範囲では、視覚的つながり指標 $V(\mathbf{X})$ が急激に減少した。 $0.4 \leq \beta_d \leq 0.6$ の範囲では、視覚的つながり指標 $V(\mathbf{X})$ の値はほぼ変化がなく、0.6 から 0.7 において、急激に減少したのちに、 $0.7 \leq \beta_d$ においては緩やかに減少した。

本研究で提案している指標が、メッシュ人口 \mathbf{X} と、眺望の広さ P 、眺望可能面積 A に依存するという性質上、 $V(\mathbf{X})$ の形状はそれらの関係性から説明することができる。 β_d が 0.4 以下の範囲の視覚的つながり指標 $V(\mathbf{X})$ の急減は、図-4(a)と図-4(b)の比較において、南端の黄色のメッシュや南西部の暖色系の人が多く住んでいるメッシュがグレーになっていることから、津波リスクの低減のために、この地域から住民が撤退していることが原因であるとわかる。また、このエリアでは、眺望の広さ P が大きく、眺望可能面積 A も大きい傾向にあるため、そうした特徴を持つ地域に人を住まわせない場合、視覚的つながり指標は特に顕著に下がることになる。また、0.6 から 0.7 に変化したときも同様、図-4(c)と図-4(d)を比較すると、中央沿岸部の黄緑色のメッシュがグレーになっていることから、同様に他のメッシュに移転していることがわかる。

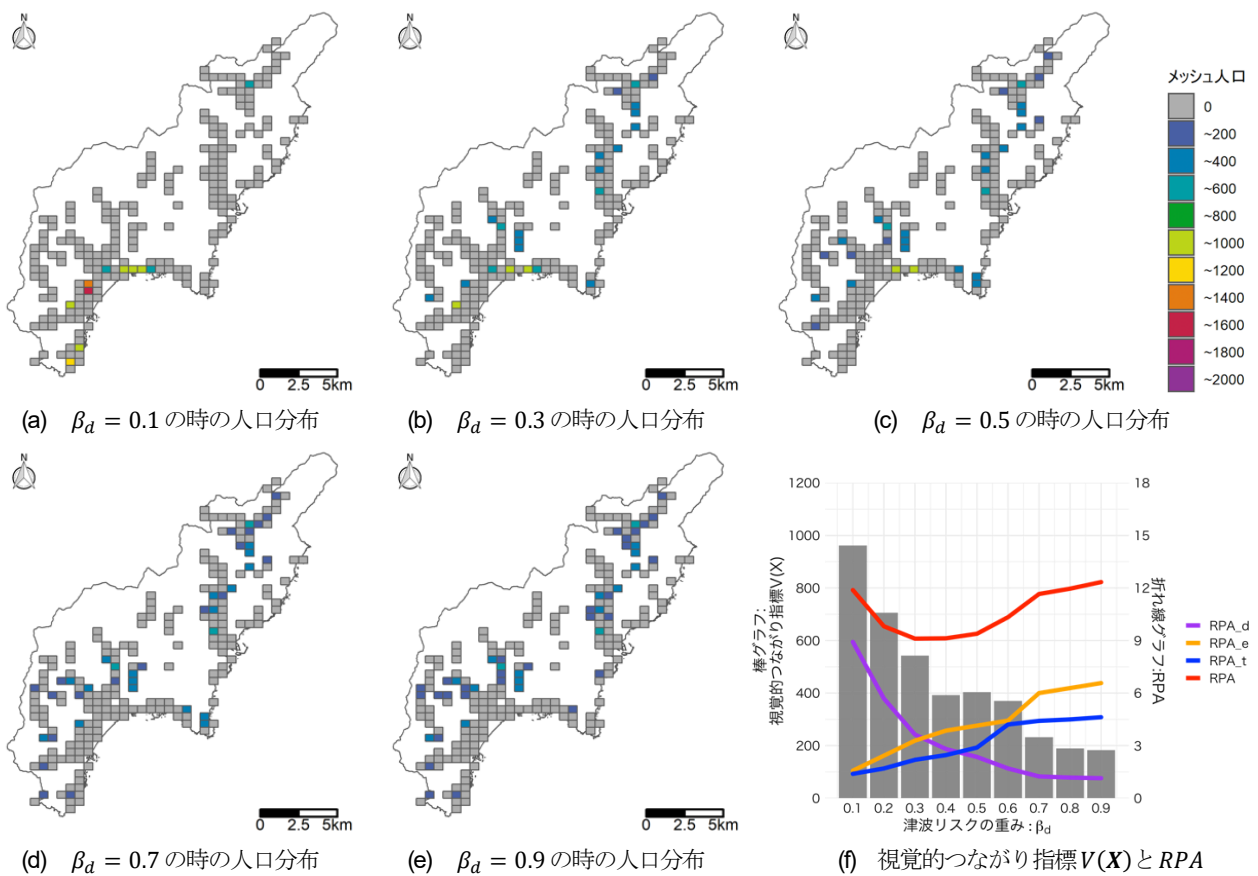


図-4 津波 RPA_d の重み β_d を変化させたときの人口分布の変化および RPA と視覚的つながり指標 $V(\mathbf{X})$ の変化 (a)-(e)は中居ら⁸⁾より引用

5. まとめ

本稿では、都市における海との視覚的つながりを眺望の広さと海の視認できる機会の要素からなるものとして定量的に評価する枠組みを示した。そして、高知県黒潮町を対象に、津波リスク、インフラ維持費、通勤時間を考慮した最適な居住地配置をもとに、津波リスクを軽減した場合における海との視覚的つながりの関係性を評価した。ただし、本稿で評価した視覚的つながりは、眺望の広さ P_i という多く海上の観測点を視認できると大きくなる値と、眺望可能面積 A という地域内の海が見える場所の面積をかけた値である。したがって、たとえば、「山の谷間から海が少しだけ見えるような場所が沢山ある」場合と「開けた眺望が見える場所が少しだけある」場合を区別することができない。加えて、海がどのような角度でみえるか、何と一緒にみえるかといった実際の風景的な要素や、海を見てどのように感じるかといった住民の主観的な要素は考慮できていない。

他方で、眺望の広さと海が見える場所の2点だけに着目することで、海との物理的な距離だけではわからない、日常的に海を視認しやすいかという点を考慮した居住地配置を検討することができた。本研究の枠組みを応用することで、防災移転の際には海との視覚的つながりポテンシャルのある地域を特定することや、2次元的な居住地配置から実際にどの程度の海の眺望を享受しているのかを比較することが可能になる。また、防潮堤など高さのある建造物を標高データに反映させることで、人々の海との視覚的つながりを考慮した土地利用計画、防災計画の検討に役立てることが出来ると考えられる。

謝辞：本研究は、JSPS 科研費 22K04361 の助成を受けて実施した。

参考文献

- 1) 阿部俊彦：気仙沼市内湾地区における防潮堤の計画とデザインの合意形成プロセス，土木学会論文集 D1 (景観・デザイン)，Vol. 73, No. 1, pp. 37-51, 2017.
- 2) 末祐介，千葉雄一，沖田寛，下田謙二：女川町の復興まちづくりにおけるコーディネート組織が果たした役割，土木学会論文集 D3(土木計画学)，Vol. 78, No. 6, pp. II_409-II_415, 2022.
- 3) 中居楓子（聞き手）：最大津波高 34m—高知県黒潮町における「新想定」後の防災対策一，土木学会誌，Vol. 106, No. 3, pp. 46-51, 2021.
- 4) 三好岩生，深町加津枝，奥敬一，中川建三：宮津市宮津地区における自然災害および自然資源利用に関する住民意識，ランドスケープ研究，Vol. 76, No. 5, pp. 627-632, 2013.
- 5) 香川恵，白柳洋俊，倉内慎也，吉井稔雄：水防災意識社会の構築に向けた河川愛着の醸成における視覚的繋がり効果分析，土木学会論文集 D3 (土木計画学)，Vol. 76, No. 5, pp. 409-416, 2021.
- 6) 国土地理院：基盤地図情報ダウンロードサービス，<https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php>.
- 7) 日本海洋データセンター（JODC）：500 m メッシュ水深データ，https://www.jodc.go.jp/jodcweb/JDOSS/index_j.html, 2022.9.30 確認.
- 8) 中居楓子，内生蔵達也，大窪和明：津波リスクの低減と平常時の利便性を考慮した最適居住地域配置モデルによるトレードオフの分析，土木学会論文集 D3 (土木計画学)，Vol. 77, No. 5.
- 9) Okubo, K., Kim, J. and Okumura, M. : Sustainable land-use planning model for disaster-affected areas, Proceedings of the International Symposium on City Planning, pp. 10, 2013.

(2022.9.30 受付)

OCEAN VIEW ANALYSIS IN OPTIMAL RESIDENTIAL AREA MODEL

Tatsuya UCHIUZO, Fuko NAKAI, Kazuaki OKUBO and Eizo HIDESHIMA