

灰色関連分析とクラスター分析の統合による避難所の適正性評価手法の開発 —高知市を対象として—

楠 竜太郎*・根本 達也*・サムブッタ ダル*・ベンカテッシュ ラガワン*

Development of an Evaluation Method for Shelter Suitability by Integrating Grey Relational Analysis and Cluster Analysis: A Case Study of Kochi City

Ryutaro KUSU*, Tatsuya NEMOTO*, Sambuddha DHAR* and Venkatesh RAGHAVAN

* 大阪公立大学大学院理学研究科 Graduate School of Science, Osaka Metropolitan University, 3-3-138
Sugimoto, Sumiyoshi-ku, Osaka 558-8585, Japan. E-mail: sl22095e@st.omu.ac.jp

キーワード：灰色関連分析，クラスター分析，避難所，適正性評価，高知市

Key words: Grey Relational Analysis, Cluster Analysis, Evacuation Site,
Suitability Evaluation, Kochi City

1. はじめに

近年、南海トラフ地震などの大規模災害に対する懸念が高まり、自治体による避難所の整備が急がれている。特に高知市は、海に面した低地部と険しい山地部によって形成される複雑な地形を有しているため、津波や土砂災害などの多様な災害リスクを考慮した防災計画が必要とされている。自治体が避難所を指定する際に、施設の管理条件や構造条件に着目して選定を行っているが、実際の避難においては、周辺からの接続性や延焼リスク、標高といった外的な要因が避難の適正性に影響している。したがって、複数の基準を統合的かつ定量的に評価する方法の確立が課題である。

これらの背景を踏まえて、本研究では、高知市における避難所を対象に、灰色関連分析 (Grey Relational Analysis: GRA) とクラスター分析を組み合わせた新たな適正性評価手法を提案する。また、複数の評価指標をもとに算出した適正性スコアに基づき、避難所を類型化することで、地域ごとの特性と課題を明らかにすることを目的とする。

2. 手法

2.1 評価指標の選定

第1表 評価指標一覧

記号	指標名
x(1)	収容可能人数
x(2)	最寄りの病院までの距離
x(3)	病床数
x(4)	最寄りの消防施設までの距離
x(5)	計測震度
x(6)	不燃領域率
x(7)	戸建て住宅密度
x(8)	木防建べい率
x(9)	津波浸水深
x(10)	土砂災害警戒区域までの最短距離
x(11)	土砂災害特別警戒区域までの最短距離

避難所の適正性を決定する上で、物理的な収容能力だけでなく、周辺の主要拠点に対する近接性、災害時における環境的な安全性など、複数の側面を考慮する必要がある。そこで本研究では陳 (2015) に基づき、(1)有効性、(2)アクセス性、(3)安全性の3つの観点から第1表に示す11の指標を選定した。安全性に関する指標に、計測震度・津波浸水深・土砂災害警戒区域までの距離・火災リスク (不燃領域率・戸建て住宅密度・木防建べい率) を含めた。

2.2 灰色関連分析 (GRA)

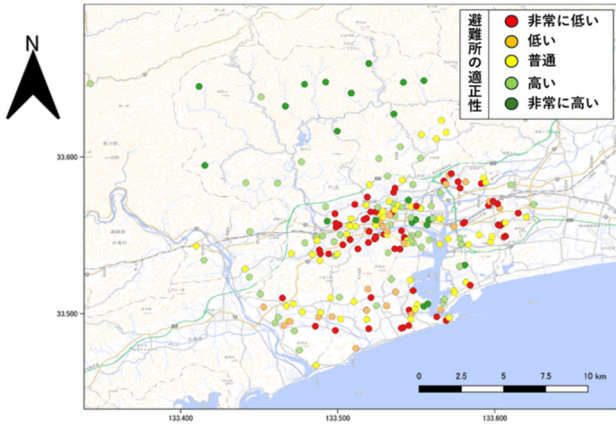
GRA は Deng (1982) が提案した灰色システム理論に基づく手法であり、不確定な要素を含むシステムにおいて、各要因間の相関の程度を定量的に分析する手法である。本手法はサンプルサイズが小さい場合や、データの分布が未知である場合においても有効に機能する。これにより、立地適正性評価における情報の不足や指標の不確実性に対応した評価が可能になる。指標は望大・望小特性に応じて正規化した。正規化した指標を用いて、各避難所と参照系列 (理想的な避難所) との差異を灰色関連係数 r として定量化する。また、式 (1) で j 番目評価指標の情報エントロピー E_j から重み w_j を算出した。最終的な適正性スコア R_i は式 (2) で求め、1に近いほど適正な立地を示す。ここで n は指標の数、 $r(x_0(k), x_i(k))$ は参照系列の第 k 項目と法案 i の第 k 項目の間の灰色相関係数である。

$$w_j = \frac{1 - E_j}{\sum_{j=1}^n 1 - E_j} \quad (1)$$

$$R_i = \sum_{j=1}^n r(x_0(k), x_i(k)) w_j \quad (2)$$

2.3 非階層型クラスター分析

多角的な評価指標から各避難所の特性を明らかにし、共通の特徴を持つ施設群から地域特性を確認するために、11指標を標準化した上で k -means 法による非階層型クラスター分析を実施した。本手法は階層型手法と比較して計算効率に優れており、大規模なデータセットに対して安定した分類が可能である。



第1図 避難所の位置と適正性区分

第2表 クロス集計結果 (施設数)

クラスター	非常に低い	低い	普通	高い	非常に高い
CL1 (延焼)	17	7	16	4	0
CL2 (津波)	1	4	15	25	8
CL3 (郊外)	51	17	54	26	5
CL4 (孤立)	0	0	4	10	20

3. 結果と考察

3.1 適正性スコアの分布

エントロピー法の結果, 病床数 ($w=0.424$), 計測震度 ($w=0.156$), 収容可能人数 ($w=0.148$) が上位の重みを示し, 医療アクセスと耐震性が評価に大きく寄与することが明らかになった. 各避難所の適正性スコア R を幾何学的間隔分類法で5段階に区分し, GISでマッピングした結果, 市街地中心部に「非常に低い」評価が集中し, 北部山間部では「非常に高い」評価が多く分布していた (第1図). 標高と適正性に正の相関が視覚的に確認された.

3.2 クラスタ分析結果

エルボー法とシルエット分析の両者が整合するクラスター数 $k=4$ でクラスター分析を実施した. 分類された4つのクラスターの特徴を把握するため, レーダーチャートの作成およびGIS上での標高データ・人口密度データとの重ね合わせを行った. 各クラスターの特徴を以下に示す.

クラスター1 (市街地延焼リスク型): 戸建て住宅密度・木防建ぺい率が高く, 不燃領域率が低い. 人口密度の高い都市中心部に集中する.

クラスター2 (沿岸部津波リスク型): 津波浸水深スコアが他クラスターと比べ突出して高く, 沿岸低地部に分布する.

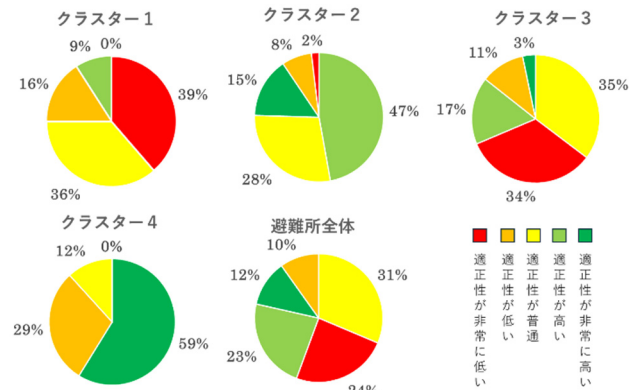
クラスター3 (郊外バランス型): 多くの指標が平均付近に収束し, 極端なリスク偏りが少ない.

クラスター4 (中山間部孤立リスク型): 病院・消防施設までの距離および土砂災害区域への距離が突出して大きく, 北部山間部に分布する.

3.3 統合評価—地域特性と施設ポテンシャルのミスマッチ

クラスターを外部環境の課題, 適正性スコア R を施設の内部的なポテンシャルとして両者をクロス集計した (第2表). それぞれのクラスターにおける適正性評価階級の構成比を第2図に示す.

クラスター1 (市街地延焼リスク型) では適正性「非常に低い」が39%に達し, 「非常に高い」が皆無であった.



人口が集中する都市環境下で, 既存施設が十分な防災ポテンシャルを確保できていない実態が定量的に示された. 対照的に, クラスター4 (中山間部孤立リスク型) では「非常に高い」が59%を占め, 施設単体の適正性は極めて高い. しかし, 病院・消防施設への遠隔性という外部環境の課題は解消されておらず, 発災時の孤立リスクが依然として高い. クラスター2 (沿岸部津波リスク型) は津波リスクが高いにもかかわらず「高い」以上が62.3%と比較的良好な評価であった. 以上より, 適正性スコア単体では見えてくれない地域固有の課題が, クラスタ分析との統合によって明確化されることが示された. クラスター1 (市街地延焼リスク型) は人口密集地でありながら施設の防災ポテンシャルが低く, 都市的脆弱性の改善が急務であることが定量的に示された. クラスター4 (中山間部孤立リスク型) は施設単体の適正性は高いが, 医療・消防施設への遠隔性という外部環境の課題は解消されておらず, 発災時の孤立リスク軽減に向けた広域連携体制の整備が求められる. このような統合的な評価視点は, 各地域の実情に応じた効率的な防災計画立案の指針として有効である.

4. おわりに

本研究では, 灰色関連分析とクラスター分析を融合させた避難所適正性評価手法を高知市の285箇所に適用し, 地域特性 (外部環境の課題) と施設ポテンシャルの間に顕著なミスマッチが存在することを定量的に明らかにした. GISを用いた可視化により, 標高と適正性との間に正の相関が視覚的にも確認された. 本手法は地域の災害リスク特性に応じた避難所の課題を浮き彫りにし, より実践的な地域防災計画の策定に寄与する有効なツールとなり得る.

本手法による評価は発災時の動的な避難行動や道路閉塞による動線変化までは完全に反映できていない. 今後の課題として, 昼間・夜間人口差を考慮した動的避難需要の算出, および避難行動シミュレーションなどとの連携による, より動的な評価手法への拡張が挙げられる. 本手法は, 不確実性を内包したまま客観的スコアを算出できる灰色理論の特性を活かした実践的な防災計画支援ツールであり, 他の都市・地域への適用も期待される.

文献

陳琳 (2015) 避難所立地の適正性に関する評価システム構築の試み. 九州大学大学院人間環境学府修士論文, pp.18-1-18-4.
 Deng, J.L. (1982) Control problems of grey systems. *Systems & Control Letters*, 1(5), pp.288-294.