



立地－配分モデルを用いた津波避難施設の配置計画立案 －宮城県女川町を事例地域に－

宮澤 仁

(お茶の水女子大学大学院 准教授)

目 的

2011年3月11日に発生した東日本大震災において東北地方から関東地方の太平洋沿岸地域が受けた津波被害は甚大であった。現在は復興にむけた取り組みが進められており、災害に強いまちづくりとして市街地や集落の高所移転が検討されている。しかし、リアス式海岸を特徴とする岩手県ならびに宮城県の三陸地域は、その地形条件から高所移転に適した土地は限られている。また、宮城県の仙台湾地域では、今回の津波により市街地や集落が広範囲に浸水した¹⁾。これらの地域では、すべての市街地・集落を高所に移転することは困難であり、浸水範囲の再建も求められるであろう。そこでは、高層建築物を計画的に設置し、避難場所を確保することが、津波への安全性を高めるためのひとつの対策になると考えられる。

そこで本報告では、立地－配分モデルを用いた津波避難施設（津波避難塔）配置計画の立案手法について提案する。また、本報告は宮城県女川町（図1）を対象に復興計画を考える学術研究プロジェクト²⁾の一環として取り組むものであり、提案の手法を同町に適用し、津波避難施設の配置を検討する。

事例地域の概要

2010年の国勢調査報告（速報値）によると、女川町の震災前人口は約1万人、高齢化率は34%であった。同じく産業別の従事者数は、第3次産業が53%、第2次産業が32%であり、第1次産業のそれは15%と少なかった。ただし、第1次産業従事者の多くは漁業従事者であり、女川港を拠点に近海漁業や養殖漁業が営まれていた。女川港の後背地には水産加工業が立地し、また中心市街地も形成されていたが、津波により壊滅的な被害を受けた。町全体でも市街地の45%が浸水し、死者・行方不明者数は933人、建物被害は全半壊の建物が3.3千棟を超えるなど、大きな被害となった。

現在、女川町では復興計画策定委員会を設置し、2011年8月の公表に向けて復興計画を取りまとめている。構想段階の土地利用計画案³⁾によると、町中心部の復興に関する考え方として、現市街地に隣接する山を造成し、住宅や公共施設からなる新たな市街地を高所に形成することが提案されている。また、今回の津波で浸水した範囲は、嵩上げなどの対策を施した上で、女川港の周辺部は公園や港湾・水産加工地区として、中心部からみて北に位置する

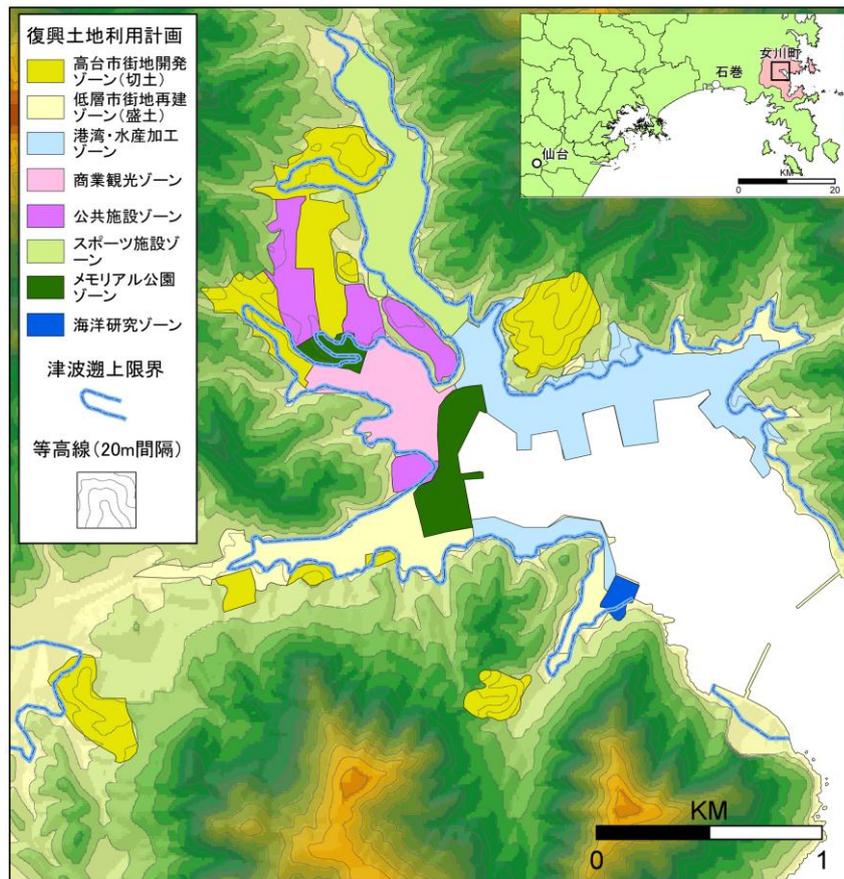


図1 宮城県女川町の位置ならびに復興土地利用計画案

土地利用計画案は、女川町復興計画策定委員会のインターネットサイトに掲載の「第4回委員会 資料4 復興基本計画図素案（町中心部案、離半島部案）」による。計画案は変更される可能性があることに注意されたい。

清水地区はスポーツ施設地区として整備される。同様に、現女川駅周辺地区は商業観光地区に、町の中心部から西側に延びる女川街道沿いの地区は住宅地として再建される。このように、女川町の復興計画では高所移転とともに浸水範囲の再建が検討されている。

立地—配分モデルを用いた津波避難施設の配置手法

立地—配分モデルは施設の最適配置を求める手法であり、そのひとつに集合カバー問題がある。これは、任意の距離ですべての需要を被覆するために必要な最小の施設数とその立地点を明らかにするものであり、以下のように定式化される。

$$\begin{aligned} \text{目的関数：} \min Z = \sum_j y_j & \quad \text{制約条件：} \sum_{j \in N_i} y_j \geq 1 \quad \forall i \\ & \quad y_j = 0, 1 \quad \forall j \end{aligned}$$

ただし、 i は需要地点、 j は施設の候補地点、 y_j は地点 j に施設が配置される場合には1、それ以外は0となる0-1型の変数である。また、 N_i は需要地点 i をカバーする施設候補地点 j の集合として $N_i = \{j \mid d_{ij} \leq D\}$ となる。ここで、 d_{ij} は地点 i と地点 j との距離、 D は施設のサービス範囲や利用圏の上限を距離で表したものである⁴⁾。

本報告では、この集合カバー問題を道路ネットワークで定義された離散空間において適用

し、津波避難施設の配置計画案を作成した。道路ネットワークの構築には、基盤地図情報（縮尺レベル 2500）の道路縁から生成した被災前の道路中心線を用いた⁵⁾。ゆえに、同データが利用可能な町の中心部とその周辺地区を分析の対象とした。需要地点*i*は、同じく基盤地図情報（縮尺レベル 2500）の建築物の重心とし、そこから最寄りの道路中心線までアプローチを設けて接続した。施設の候補地点*j*は、道路ネットワークのノード（道路の端点や交差点、建築物までのアプローチとの交点）とした。

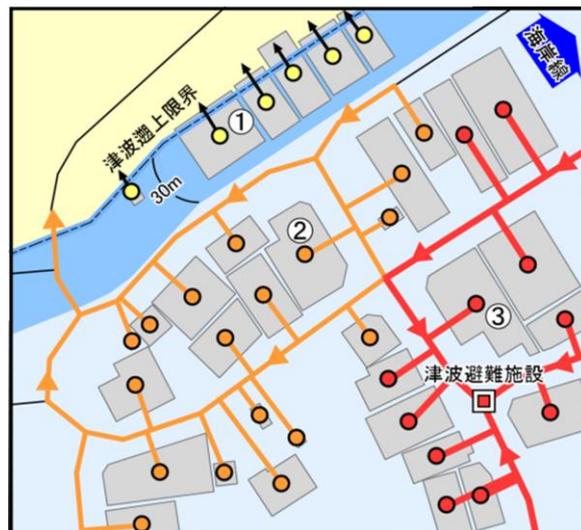


図2 避難行動の設定（模式図）

需要地点*i*の需要値は、次の2通りの方法で設定した。①直近の統計として2010年国勢調査（速報値）の集計結果ならびに2009年経済センサスの調査区別集計結果⁶⁾を用いて、各地区の需要地点*i*に人口と従業者数を割り振った。②土地利用計画案の非住宅・非産業地区（公園地区やスポーツ施設地区）にかかる基本単位区（調査区）・調査区の人口・従業者、ならびに同港湾・水産加工地区にかかる基本単位区（調査区）の人口を、新たに開発または再建される地区にかかる基本単位区（調査区）・調査区に割り振り、さらに各地区の需要地点*i*に割り振った。ただし、設定②は、土地利用計画案が示されており、かつ道路ネットワークが利用可能な範囲として、町の中心部ならびに東部の尾浦地区を対象に適用した。

需要地点*i*と施設候補地点*j*との距離 d_{ij} は、両地点を道路に沿って移動する際の時間距離とした。避難者の移動速度は、女川町が高齢化の進んだ地域であり、夜間の避難や道路閉塞などが発生することも想定し、平均的な移動速度（1m/s）を下回る0.5m/sとした⁷⁾。また、避難行動は次のように設定した（図2）。まず、今回の津波の遡上限界付近⁸⁾にいる居住者・従業者は、津波発生後、その外側に避難する。その場合、①遡上限界まで30m（1分）以内の居住者・従業者は直接その外側に、②それ以上かかる人は、道路に沿って所定の時間で外側に避難する。③津波避難施設には、以上に該当しない居住者・従業者が避難する。さらに②と③に関しては、原則として津波から遠ざかる、つまり海岸線とは反対の方向に道路を移動するとした。施設までの上限の移動時間*D*は5分と10分の2通りとし、津波遡上限界の外に避難する人の移動時間も同様とした。なお、移動時間*D*の値を変化させて分析した結果、女川町においてすべての居住者・従業者が津波遡上限界の外側に避難可能となる時間は13.4分であった。

津波避難施設の配置案

以上の設定において集合カバー問題を解くことで明らかとなった津波避難施設の必要数と収容避難者数（居住者と従業者を合算）を、被災前の需要分布と復興土地利用計画案を参考

表1 女川町における津波避難施設の必要数および収容避難者数

収容避難者数	被災前の 需要分布		復興土地利用計画を 参考にした需要分布	
	5分	10分	5分	10分
10人未満	19	4	17	5
10人以上, 50人未満	47	4	35	2
50人以上, 100人未満	14	1	5	1
100人以上, 150人未満	2	0	0	0
計	82	9	57	8

とした需要分布の別に、さらに津波避難施設までの移動時間別に表1に示した。移動時間に注目すると、同時間が5分と10分の場合で避難施設の必要数は大きく異なることがわかる。移動時間を10分にした場合、多くの居住者・従業者が津波の遡上範囲外に避難が可能となるからである。次に、被災前の需要分布と復興土地利用計画案を参考にしたそれとの結果を比べると、後者の必要施設数は少なく、また収容避難者数も少なくなる傾向にある。

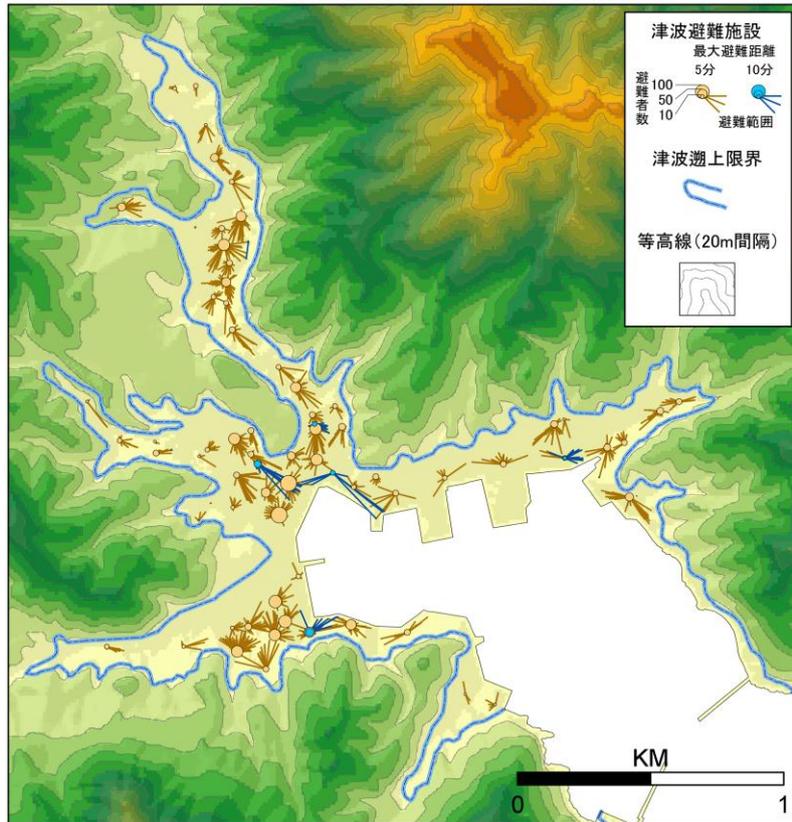
図3は、女川町の中心部を対象に、津波避難施設の配置場所と収容避難者数、移動時間の違いを、それぞれ円の位置とその大きさ、色の違いで示した地図である。また、この図では、各施設に避難する需要地点の範囲を避難施設と直線で結ぶことで示した。なお、ほとんどの施設において海岸線側に避難範囲が広がっており、津波から遠ざかる方向に避難する設定を反映した結果となっていることがわかる。

上のa図は、被災前の需要分布に基づく結果である。移動時間が5分の場合をみると、現市街地のうち女川港の西側や中心部から見て北側の地区において、津波の遡上限界からやや離れた場所に配置された施設で収容避難者数が多くなることがわかる。逆に、津波遡上限界の近くに配置される施設は避難者数が少ない。また、移動時間が10分の場合には、必要施設数が少なくなり、さらに遡上限界の近くに収容避難者数の少ない施設が配置される傾向にある。

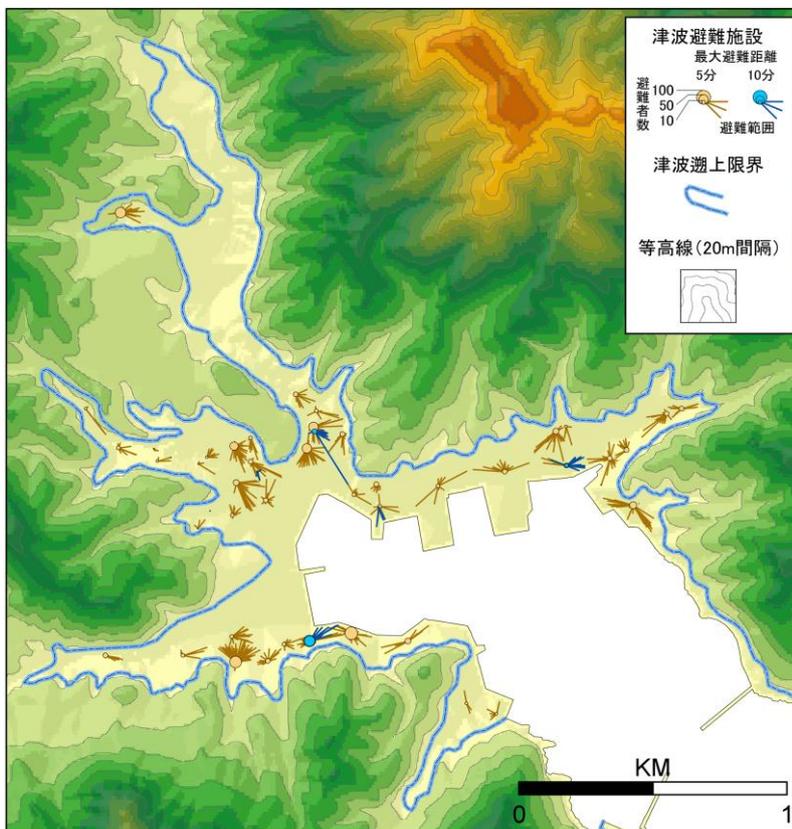
下のb図は、復興土地利用計画案を参考とした需要分布の結果であり、移動時間が5分の場合には、女川港の北西側や南側の津波遡上限界と近い場所に収容避難者数の比較的多い施設が配置されている。また、移動時間が10分の場合には、必要施設数が少なくなり、女川港南側の施設を除いて収容避難者数も少ないという内容の結果が得られている。

課題

本報告では、津波避難施設の配置計画を立案するにあたり、立地-配分モデルを道路ネットワークで定義される離散空間に適用したが、それは震災前の道路網に基づくものであった。しかし、復興計画では道路の再建パターンの検討も重要である。特に、本報告の分析では、津波遡上限界の近くにも避難施設が配置される結果が得られた。そのような場所でさらに安全性を高めるためには、遡上限界外への避難を促すべきである。道路の敷設を工夫して避難経路とすることで、それが容易となるかどうかの検討も必要である。



a) 被災前の需要分布に基づく結果



b) 復興土地利用計画を参考とした需要分布に基づく結果

図3 女川町中心部における津波避難施設の配置案

また、本報告の分析では、女川町のすべての居住者・従業者が津波遡上限界の外側に避難するまで13.4分の時間が必要なことが明らかになった。対して、津波の浸水範囲が広い宮城県の仙台湾地域では、遡上限界外への避難に要する時間はより大きいであろう。津波避難施設の必要性が一層高い地域に対して、本報告で提案した手法を適用することも今後の課題である。

注

- 1) Miyazawa, H. 2011. Land Use and Tsunami Damage in Pacific Coast Region of Tohoku District. *The 2011 East Japan Earthquake Bulletin of the Tohoku Geographical Association*. URL <http://www.soc.nii.ac.jp/tga/disaster/articles/e-contents18.html>
- 2) Isoda, Y. 2011. Moving the whole town up hill an algorithmic search of developable land in tsunami-hit Onagawa Town. *The 2011 East Japan Earthquake Bulletin of the Tohoku Geographical Association*. URL <http://www.soc.nii.ac.jp/tga/disaster/articles/e-contents19.html>
- 3) 女川町復興計画策定委員会のインターネットサイトに掲載の「第4回委員会 資料4 復興基本計画図素案(町中心部案、離半島部案)」による。URL http://www.town.onagawa.miyagi.jp/hukkou/pdf/iinkai/04_meeting/04_meeting_appendix4.pdf
- 4) 石崎研二 1994. 立地・配分モデルとその展開—とくにモデルの構造に着目して—。人文地理 46 : 604-627.
- 5) 東北大学大学院理学研究科の磯田弦准教授が作成した道路中心線のデータに、筆者が一部変更を加えたものを使用した。
- 6) 2010年(平成22年)国勢調査(速報値)の人口・世帯数および整備中の基本単位区(調査区)境界、2009年(平成21年)経済センサス基礎調査の調査区別集計および調査区境界を使用した。これらのデータは、災害への対応を目的として総務省統計局より使用許可を得た。
- 7) 津波避難ビル等に係るガイドライン検討会・内閣府政策統括官(防災担当)(2005)「津波避難ビル等に係るガイドライン」に掲載の歩行速度を参考に設定した。
- 8) 日本地理学会災害対応本部津波被災マップ作成チームが作成した「2011年3月11日東北地方太平洋沖地震に伴う津波被災マップ」のデータを上記チームより許可を得て使用した。URL <http://danso.env.nagoya-u.ac.jp/20110311/>

連絡先 :

お茶の水女子大学大学院人間文化創成科学研究科
ジェンダー社会科学専攻地理環境学コース
〒112-8610 東京都文京区大塚2-1-1
Email: miyazawa.hitoshi (a)ocha.ac.jp

(2011年8月9日提出)