

地震・津波災害を想定した災害時要援護者の避難支援計画に関する研究

中山 貴喜¹・神谷 大介²

¹琉球大学大学院理工学研究科博士前期課程 (〒903-0213 沖縄県中頭郡西原町字千原一番地)

²琉球大学工学部環境建設工学科助教

本論文では安心・安全なまちづくりにおいて災害時の要援護者支援が重要であるとの認識から、社会的ネットワークに着目し、支援者と災害時要援護者のマッチングの提案を行った。マッチングは平日昼間と夜・休日では支援者を取り巻く環境が違うことなどを考慮し、現状のマッチングの推定、MinSum・MinMaxによるマッチングの最適解といった6つのシナリオを設定した。

それを沖縄県渡名喜村に適用し、適用結果を距離・時間指標、要援護者の支援確率といった複数の指標を用い、定量的評価および考察を行った。

キーワード 社会的ネットワーク、災害時要援護者、マッチング、避難支援

1. はじめに

周知のとおり、日本は4つのプレートの境界上に位置しており、かつ周りが海に囲まれていることから地震・津波の被害が考えられる。また、日本の高齢化率は、23.3%¹⁾（2011年）と高く、災害時の避難行動等でハンディキャップのある災害弱者の割合が高い。以上の認識から、日本は地理的・社会的に災害脆弱性の高い地域であるといえる。1995年の阪神・淡路大震災や、2011年の東日本大震災に代表されるような、過去の低頻度大規模災害の経験から、防災インフラ整備等のハード的防災の限界と、被災時の近隣住民での助け合いといったソフト的減災の重要性が再認識された²⁾。以上の認識から、安心・安全なまちづくりを進めていくうえで、防潮堤の建設といったハード的防災だけではなく、避難計画や避難支援計画といったソフト的減災も推進していく必要がある。

前述にもあるように日本は高齢者が多く、特に過疎地域においては1人で避難行動をとるのが難しい災害時要援護者（以下要援護者と表記）の対応が強く求められる。したがって、災害時1人でも多くの人が助かる（人的被害の最小化）ためには、この要援護者を誰が助けに行くかといったことを規定する避難支援の個別計画（以下個別計画と表記）を事前に作成していることが望ましい。内閣府も「災害時要援護者の避難支援ガイドライン」を参考に、市区町村において個別計画を策定するよう促進している。しかし、約7割（2012年）の市区町村で未着手・

策定途中である³⁾。また策定していても1人の支援可能な者（以下支援可能者と表記）が複数の要援護者を支援することになっている、高齢な民生委員が支援することになっている、平日昼間には支援可能者の多くが仕事に行くなどして地域にいないことを想定していないなどの課題が見受けられる⁴⁾。

以上の認識から、本研究では上述の課題を考慮し、推定される現状の要援護者と支援可能者のマッチングと、最適な条件でマッチングをした場合の違いや、支援者の多い夜・休日と、支援者の少ない平日昼間との要援護者の支援の違いを定量的に把握することを目的とする。よって、2章では平日昼間と夜・休日の2つの状況において6つのマッチングの方法を提案する。3章・4章では2章で示したマッチングの方法を実際に沖縄県渡名喜村に適用し、いくつかの指標を使用し、マッチングの結果を定量的に評価することにする。

2. 支援可能者と要援護者のマッチング方法

（1）平日昼間と夜・休日

支援可能者となりうる年齢層の大半は、生産年齢層である。よって一般的に平日昼間には仕事に出かけ、夜・休日は家にいることが多い。したがって、平日昼間は夜・休日に比べて要援護者を支援できる人数は少なくなる。以上の認識から、個別計画策定の際は、理想的な夜・休

日の場合のみを想定するのではなく、支援者が少ない平日昼間をメインに想定することが必要であると考える。

(2) 直接認知と媒介認知

災害時に避難支援を行う際、支援可能者と要援護者の認知関係は重要である。それは支援者が要援護者を事前に認知していなければ、その人が要援護者であると認知できず、避難支援行動を選択し得ないからである。個別計画を策定する際も、できる限り支援者の知り合いの要援護者を割り当てる方が望ましい。したがって認知関係を考慮することは有意義であると考える。認知関係には直接認知と媒介認知の2つが考えられる。直接認知とは支援者*i*が直接、要援護者*j*を認知していることを指す。媒介認知とは*i*と*j*に直接の認知関係はないが、ある媒介者*k*が*i,j*を認知していることを指す。媒介認知関係は災害時に、*k*が*i*に「*j*を助けに行って。」と支援要請を行うことで避難支援行動につながる。

(3) マッチングシナリオの提案

(1)、(2)を踏まえ、平日昼間と夜・休日の2つの状況において、表-1に示す、認知関係を考慮したどの支援可能者がどの要援護者を助けに行くかというマッチングシナリオ6つを提案する。

a) シナリオ1（直接認知関係を考慮した現状推定）

本シナリオは、地域の現状ありうる要援護者と支援者のマッチングを推定するために直接認知関係を考慮する。アンケート調査等により地域住民の認知関係を調査し、直接認知関係のある支援者*i*と要援護者*j*において*i*たちからあまり認知されていない（入次数の少ない）*j*から順に*ij*世帯間の距離が近い者同士をマッチングさせる。

b) シナリオ2（媒介認知関係も考慮した現状推定）

本シナリオもシナリオ1同様、現状推定のためのシナリオである。シナリオ1のマッチングの組み合わせ結果に加え、まだマッチングできていない媒介認知関係のある*i,j*において入次数の少ない*j*から順に*ij*世帯間の距離が近い者同士をマッチングさせる。

c) シナリオ3（MinSum条件による最適マッチング）

シナリオ1, 2によるマッチングシナリオは、直接的または間接的（媒介認知）に認知している要援護者に対しての一種の最適な解といえる。しかし、直接的にも間接的にも支援者から認知されていない要援護者も存在する可能性がある。そのような避難支援が受けられない可能性の高い要援護者については、今後どの支援可能者が災害時助けに来ること（マッチングすること）が望ましいかを検討する必要がある。よって、本シナリオではシナリオ1のマッチングの組み合わせ結果に加え、マッチングできていない*i,j*において、すべての*i*がすべての*j*を認知している（認知関係を完全グラフ）と仮定し、*i*が*j*を

助けにいった場合の避難所までの所要時間（避難所要時間 t_{ij} ）の総和が最小になるような（MinSum）支援可能者と要援護者の組み合わせでマッチングを行う。たとえば支援者*i₁, i₂*が、要援護者*j₁, j₂*を認知しており、避難所要時間が図-1に示すような場合を考える。*i₁*が*j₁*を、*i₂*は*j₂*を助けにいった場合、 t_{ij} の総和 $\text{Sum}t_{ij}$ は11minである。逆の場合は12minである。よって、MinSumの条件でマッチングすると、*i₁*は*j₁*と、*i₂*は*j₂*とマッチングする。このMinSumによるマッチングの組み合わせの解は、複数の要援護者を1つの集合でみた際の、最大避難所要時間の最小化の最適解といえる。

d) シナリオ4（MinMax条件による最適マッチング）

シナリオ4ではシナリオ3と同様に、シナリオ1のマッチング結果に加え、今回はMinSumではなくMinMax（ t_{ij} の最大値が最小になる組み合わせ）の条件でマッチングを行う。MinSumは前述のように要援護者全体での最適な解である。一方、MinMaxは最も避難に時間のかかる要援護者個人の避難時間を最小化するという組み合わせ条件の性質上、個人における最大不幸の最小化の最適解といえる。シナリオ3同様の例においてMinMaxの条件でマッチングした場合、図-2に示すような結果になる。*i₁*が*j₁*を、*i₂*は*j₂*を助けにいった場合、避難所要時間の最大値 $\text{Max}t_{ij}$ は、10minであり、逆の場合、 $\text{Max}t_{ij}$ は7minである。よって、後者の組み合わせがMinMaxの条

表-1 マッチングシナリオ

シナリオ	ルール	評価基準
1	1=直接認知のみ	距離
2	2=1+媒介の認知	距離
3	3=1+完全グラフ	MinSum
4	4=1+完全グラフ	MinMax
5	5=3+完全グラフ(2人目)	地域にいない確率
6	6=4+完全グラフ(2人目)	地域にいない確率

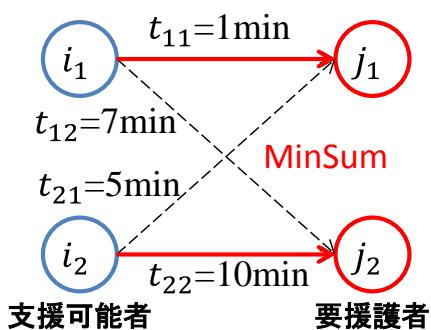


図-1 MinSumでのマッチングの簡略図

件を満たすからである。

e) シナリオ 5, 6 (避難支援確率の平等化)

シナリオ 3,4 を適用することで、支援可能者の人数が要援護者以上の場合、すべての要援護者に 1 人の支援者を割り振れる。しかし割り振られた支援者 i の中には、よく地域を離れる人もいることが考えられる。そのような場合、要援護者 j の避難支援が漏れるリスクが高い。以上を考慮し、このシナリオではシナリオ 3,4 の結果に加え、地域を離れる確率の低いまだマッチングできていない i を、地域を離れる確率の高い i とマッチングしている j と順番に代わりの支援者としてマッチングさせる。このマッチング方法の簡略図を図-3 に示す。

3. 渡名喜村の概要

(1) 渡名喜村の位置・人口

渡名喜村は那覇市から北西約 58km に位置する人口 403 人⁵⁾ (2013 年) の過疎化した島嶼地域である。高齢化率は図-4 に示すように 33.4%⁶⁾ (2010 年) と離島の中でも著しく高く、要援護者対応が求められる地域である。

(2) 渡名喜村の想定される災害

沖縄県津波被害想定検討委員会⁷⁾によると、表-2 に示すような津波が想定されている。渡名喜村の集落は、港近くの海拔 10m 未満の平地に構成されており、集落全てが津波の影響を受けるため、避難の必要がある。渡名喜村の避難場所は津波注意報の場合は図-5 中の 4 か所すべてに避難でき、津波警報の場合は図-5 中の線で囲った高台にある 2 か所の避難場所に避難することになっている。

(3) 渡名喜村の支援可能者と要援護者の把握

アンケート調査により、要援護者 12 世帯 13 人、支援可能者 37 世帯 42 人が確認できた。したがってこの要援護者 13 人と支援可能者 42 人に対して前述のマッチングシナリオを適用する。

4. 渡名喜村へのマッチングシナリオの適用

(1) マッチングに必要な値の抽出方法及び設定

a) 認知関係の把握

認知関係はアンケートにより調査した。把握方法は GIS により作成した集落内の地図上の知っている世帯にチェックする方式を採用した。

b) 避難所要時間の算出

支援者世帯から要援護者世帯までは、最短経路を歩行

速度 1.3m/s で向かったと仮定し、要援護者世帯から避難場所までは、要援護者世帯から一番近い避難場所に避難すると仮定し、最短経路を歩行速度 0.8m/s で避難したと想定する。なお、高台にある図-5 中の赤線で囲った 2 か所の避難場所への避難に関しては、坂を上がる必要があるので、その坂の部分の歩行速度は 0.4m/s で上ったと仮定する。また、今回はブロック塀倒壊等による道路閉塞は考慮せず、理想的な避難路を仮定した。

c) 島を出る確率

アンケートにより 1 年で島を何回出るかという項目を設け、調査を行った。本島から渡名喜村へのアクセス手段は、1 日 1 往復の船のみである。さらに往復便とも午前中のみなので、日帰りは不可能である。つまり、一度島から用事で出かけた場合、最低でも 1 泊 2 日することになる。よって 1 回島を出た際、1 泊 2 日で島に戻ると仮定し、島を出る確率 x_{out} を以下の式(1)により算出した。

$$x_{\text{out}} = 1 \text{ 年に島を出る回数} / 365 \text{ 日} \times 100 [\%] \quad (1)$$

(2) 渡名喜村における平日昼間と夜・休日の違い

渡名喜村は離島なので基本的に職場は島内にある。したがって平日昼間に仕事で地域を離れる事はない。しかし、教職員に関して平日昼間は教鞭をとっており、その際、災害が起きれば生徒対応に追われる所以、要援護者対応は不可能である。また役場職員に関しては平日昼

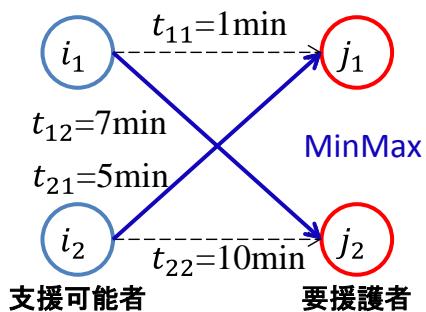


図-2 MinMax でのマッチングの簡略図

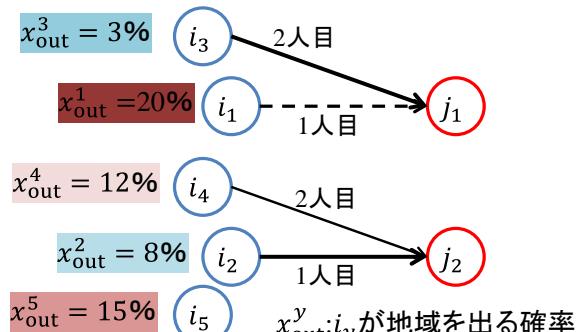


図-3 支援確率の平等化の簡略図

間、夜・休日の両方の状況において避難誘導等の行政視点での災害対応にあたるため、個別に要援護者対応をすることは不可能であると考えられる。以上の認識から、支援可能者において教職員は平日昼間の状況において、役場職員は両方の状況において要援護者とマッチングさせないことにする。

(3) マッチング結果の評価指標

マッチング結果を評価するための指標を表-3に示す。 Maxd_{ij}^K と AveSumd_{ij}^K は各シナリオ3~6において認知関係を完全グラフ（すべての支援者がすべての要援護者をしていると仮定）としてマッチングした支援者と要援護者世帯間の距離に関する指標である。 Sumd_{ij} は各シナリオすべての支援者と要援護者世帯間の距離の合計値である。この3つの指標の単位はすべてメートルである。次に島を出る確率 x_{out} に関する値であるが、シナリオ3,4に関しては、1人の要援護者に1人の支援者がマッチングしているので、要援護者が避難支援を受けられない確率は式(1)により x_{out} を算出できる。シナリオ5,6に関しては、1人の要援護者に2人の支援者がマッチングしている可能

性があるので、その場合、要援護者が避難支援を受けられない確率は、マッチングしている2人の支援者が同時に島を出る確率になるので、2人の支援者が島を出る回数の積を365日の2乗で除し、100を乗じている。なお、2人目の支援者をマッチングしているシナリオ5,6の Sumd_{ij} と避難所要時間に関する Maxt_{ij} と Avet_{ij} は、2人目の支援者が要援護者を助けに行くと仮定し、算出している。

(4) 渡名喜村へのマッチング適用

渡名喜村において2章で示したマッチングシナリオを適用し、表-3の評価指標で示した結果を表-4、表-5に示す。また、グラフ化したマッチングの結果も図-6、図-7、に示す。スペースの関係上、平日昼間のMinSum（シナリオ3）、MinMax（シナリオ4）のみを示す。

(5) マッチング結果の考察

表-4、表-5より、現状の直接認知関係だけでは、仮に支援可能者が最適に要援護者を支援しても8人がマッチングできていないことがわかる。また、夜・休日の支援者が多い場合で、媒介認知を含めてもまだ2人がマッチングできていないことがわかる。しかし、MinSumや

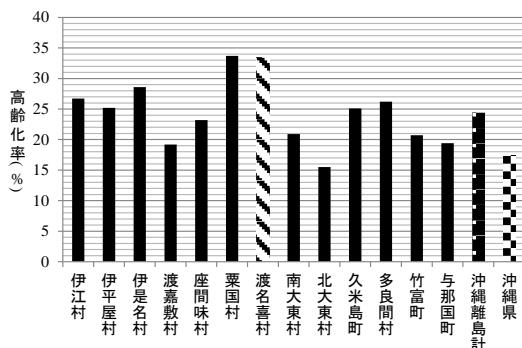


図-4 沖縄県の離島の高齢化率⁶⁾

表-2 渡名喜村の津波想定⁷⁾

項目	想定結果
最大遡上高	10.3m
影響開始時間(±20cm)	18min
影響開始時間(±50cm)	26min
津波到達時間	29min



図-5 渡名喜村の避難場所

MinMaxで最適なマッチングを行うことにより、要援護者全員の避難が完了できることがわかる。また、平日昼間と夜・休日のシナリオ3,4の結果を見比べると、夜・休日の方が距離に関する指標の値が小さいことから、夜・休日のシナリオの方が、支援者と要援護者世帯間の距離が近い者同士でマッチングできている。つまり、距離に関して、より最適な結果といえる。しかし、平日昼間に災害が起きた場合、夜休日のシナリオでは支援に行けない支援者も含まれている。よって、個別計画を策定する際は、平日昼間のマッチング結果を注視し、夜・休日の結果の違いを認識する必要がある。

表-3 マッチングの評価指標

係数	内容
$\text{Max}d_{ij}^K$	認知関係を完全グラフとしてマッチングした支援可能者と要援護者間の距離の最大値
$\text{AveSum}d_{ij}^K$	認知関係を完全グラフとしてマッチングした支援可能者と要援護者間の距離の平均
$\text{Sum}d_{ij}$	すべてのマッチングにおいての支援可能者と要援護者間の距離の総和
$\text{Max}x_{\text{out}}$	マッチングした支援可能者の要援護者の支援漏れの確率($x_{\text{out}}=1$ 年で島を出た回数/365日 × 100)の最大値 2人目もマッチングしている場合 x_{out} は2人の1年で島を出た回数の積/365 ² × 100
Avex_{out}	マッチングした支援可能者の x_{out} の平均
$\text{Max}t_{ij}$	要援護者の避難場所までの所要時間の最大値
Avet_{ij}	要援護者の避難場所までの所要時間の平均
教職員数	マッチングした支援可能者中の教職員の人数
避難不可能者数	要援護者において津波到達時間までに避難所に避難できなかった人数

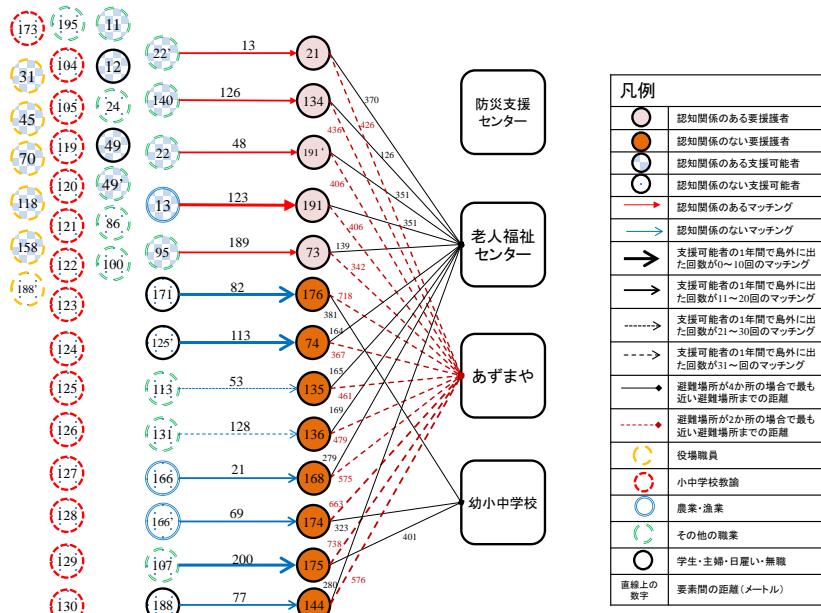


図-6 平日昼間の MinSum のマッチング

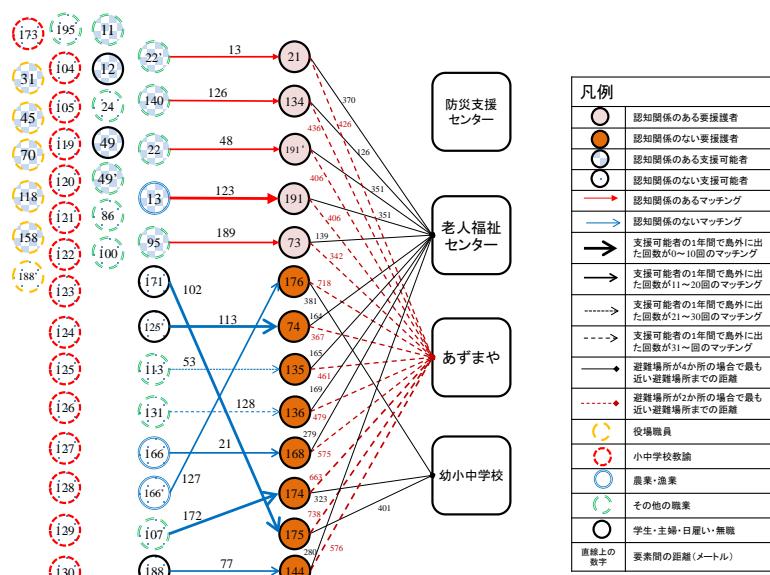


図-7 平日昼間の MinMax のマッチング

5. おわりに

渡名喜村において、提案したマッチングシナリオを適用、評価したことにより、現状の認知関係ではマッチングできない要援護者がいることが示された。しかし、最適なマッチングを行うことで、想定される津波到達時間までに全員の避難が完了できることがわかった。また、2人目の支援者をマッチングすることで、平日昼間の Maxx_{out} が11%から3.3%に減少することから、要援護者の支援漏れのリスクを大幅に軽減できることを定量的に示すことが出来た。このマッチングの結果は渡名喜村の個別計画策定の支援方法として適用可能であると考える。今回のマッチングは、1人目の支援者の際には、避難所要時間を、2人目の際は地域にいる確率をもとに要援護者とマッチングさせたが、今後はこの2つの指標のウェイトづけを変更してマッチングを試す必要もあると考える。

謝辞：本研究を行うにあたり、渡名喜村の方達には近所間のつながりや地域の歴史等について教えていただき大変参考になりました。また役場の比嘉氏には忙しい中、避難場所等の見学に同行していただきとても感謝しています。ここでお礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 内閣府：平成24年版高齢社会白書,
http://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2012/zenbun/24pdf_index.html
- 2) 龜田弘行（監修）：総合防災学への道, 京都大学学術出版, 2006
- 3) 総務省消防庁：災害時要援護者の避難支援対策の調査結果, pp.1-6, 2012,
http://www.fdma.go.jp/neuter/topics/houdou/h24/2407/240703_1houdou/01_houdoushiryou.pdf
- 4) 神谷大介, 赤松良久, 板持直希, 竹林洋史, 二瓶泰雄：小規模集落における豪雨災害に対する課題と支援方策～奄美大島豪雨災害を事例として～, 土木学会論文集G（環境）, Vol.68, No.5, pp.305-312, 2012
- 5) 渡名喜村役場：渡名喜村役場 HP, 2013
<http://www.vill.tonaki.okinawa.jp/>
- 6) 総務省統計局 e-Stat：平成22年国勢調査, 2011,
<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat>List.do?bid=000001035035&cycode=0>
- 7) 沖縄県海岸防災課：沖縄県津波被害想定検討結果について, 2013, <http://www.pref.okinawa.lg.jp/site/doboku/kaibo/kaigan/tsunami/index.html>

表-4 平日昼間のマッチング結果

平日昼間の各シナリオの評価結果									沖縄本島南東沖地震 津波到達時間(29min)
シナリオ	$\text{Max}d_{ij}^K$	$\text{AveSum}d_{ij}^K$	$\text{Sum}d_{ij}$	Maxx_{out}	Avex_{out}	$\text{Max}t_{ij}$	Avet_{ij}	教職員数	避難 不可能者数
シナリオ1	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	0	8(8)
シナリオ2	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	0	3(3)
シナリオ3	200.0	92.9	1242.0	11.0	4.5	11(21)	7(15)	0	0(0)
シナリオ4	172.0	99.1	1292.0	11.0	4.5	10(20)	7(15)	0	0(0)
シナリオ5	559.0	307.5	3055.0	3.3	1.0	14(24)	9(17)	0	0(0)
シナリオ6	473.0	296.8	3011.0	3.3	1.0	12(22)	9(17)	0	0(0)

()の中は避難所を防災支援センターとあずまやの2つのみ
使えると仮定した場合の数値である

表-5 夜・休日のマッチング結果

夜・休日の各シナリオの評価結果									沖縄本島南東沖地震 津波到達時間(29min)
シナリオ	$\text{Max}d_{ij}^K$	$\text{AveSum}d_{ij}^K$	$\text{Sum}d_{ij}$	Maxx_{out}	Avex_{out}	$\text{Max}t_{ij}$	Avet_{ij}	教職員数	避難 不可能者数
シナリオ1	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	0	8(8)
シナリオ2	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	1	2(2)
シナリオ3,4	128.0	80.8	1145.0	11.0	4.9	10(20)	7(15)	1	0(0)
シナリオ5,6	493.0	270.0	3510.0	0.2	0.1	12(22)	9(17)	6	0(0)

()の中は避難所を防災支援センターとあずまやの2つのみ
使えると仮定した場合の教職員数