

地震による経済損失規模の推定と復興政策に関する一考察

立命館大学歴史都市防災研究所 谷口仁士
防災科学技術研究所 崔 青林

1.はじめに

今まで、幾度となく震災を経験してきたが、その被害規模統計は“家屋倒壊などの物的被害と死傷者や被災者数などの人的被害”の数量であり、必ずしも被災地域の社会経済構造を反映したものでは無かった。また、多くの災害研究者はこの被害量を軽減させるための理学・工学を発展させてきた。

1995年阪神・淡路大震災では直接被害額が約10兆円に達するとの報告がされた。この直接被害額集計は、1964年の新潟地震以降の震災でも報告されている。しかし、この直接被害額(復興費)に関する防災的な視点からの研究はなされておらず、豊田^[1]による論文が最初である。著者らはこの直接被害額も震災の規模尺度であるとともに被災地の“顔”も映し出しているとの認識から、被災地の社会経済構造に基づく直接被害額推定式を提案した^{[2]~[5]}。さらに、津波災害による直接被害額の推定についても開発・提案^[6]している。

一方、間接被害額の報告については、1964年新潟地震による新潟市の報告のみである。近年の地震災害では復興政策が注視されているが、その視点は次の地震災害への予防的政策に終始していると言っても過言ではない。しかし、阪神・淡路大震災や東日本大震災では想像をはるかに超える複合型災害となり、被害の影響は被災地ばかりでなく国内外にも波及するとともに、被災地では長期化がおり、復興を困難にしている。特に、被災地からの人口流動(流出、流入)とともに少子高齢化など、被災地域の復興推進への問題は山積している。自治体の防災対策の多くは、“予防と応急対策”から構成され復興(経済)計画に関しては、被害発生後にどの自治体も考えておらず、その原因の一つは、経済的被害の予測がなされていなかったことが指摘されている。

本研究は被害額の視点から調査・分析を行うとともに直接被害額推定式の開発や経済指標の時系列シミュレーションから間接被害額推定(復興シミュレーション)を試みたものである。

2.直接被害額の推定方法

2.1 地震動および液状化強度に基づく直接被害額推定

谷口ら^{[2]~[5]}の一連の研究によって以下のように提案されている。

ここに、

$$Y_p = 0.0347 \times Se_{24}^{1.3119} \times I \times (0.03 \times PL + 1) \times \begin{bmatrix} D_1 \\ D_2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Y_p : 直接被害総額(兆円)、 Se_{24} : 民力総合指数(都道府県別、24指標)

PL : 液状化危険度指数

I : 震度補正係数;

Si : 計測震度

D_1, D_2 : Hazardに関する補正值である。

$$I = \frac{3}{(1 + 4.61 \times 10^8 \exp(-3.5Si))} \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} \text{地震動による被害が主体の場合 } D_1=1.00 \\ \text{大規模斜面崩壊が発生した場合 } D_2=4.51 \end{bmatrix}$$

式(1)は直接被害総額と被災地域の経済力を示す「民力総合指数」の関係を経験的に具体化した方法である。ここで用いた「民力総合指数」は都道府県別に算出されている24指標の値であることから、式(1)からは都道府県単位でのみ被害額が推定可能であった。しかし、実際には僅かな距離の差であっても被害の規模は異なることや被災地の自然条件・社会経済構造が異なるため、都道府県レベルより細分化した市町村レベルでの被害額推定を可能にするため、民力総合指数を市町村単位での指数に変換した。市

町村別に算出されている 10 指標の値、 Se_{10} 、を都道府県別に合計し、その値と各都道府県の 24 指標の値と比較した結果を図 1 に示した。両者には以下の関係が成り立つことが明らかとなった。

$$Se_{24} = 0.0084 \times Se_{10}^{1.0188} \quad (3)$$

以上から、式(1)に式(3)を代入することで、市町村別の直接被害額が推定できる。

2.2 津波による直接被害額推計式

まず、1960 年チリ地震による津波被害を対象に岩手県の市町村被災統計データ^[7]を用いて、津波による直接被害額の基本式を構築し、次に、過去の地震津波(東日本大震災を除く)の中で詳細な被災記録があり、被災状況も最も大きい北海道南西沖地震(奥尻町)による直接被害額を参考に最大津波高を取り入れた推計モデルを構築する。最後に、今回の東日本大震災の被災事例への適用を試みる。なお、他の津波被害とも比較するため、すべての被害額は 2010 年を基準として補正を行い、岩手県の被災 12 市町村に関する直接被害額と民力総合指数^[8]を表 1 に示した。

表 1 1960 年チリ津波地震による被災統計結果(岩手県・2010 年の貨幣価値に修正)

被災エリア	大船渡市 (旧三陸村を含む)	大槌町	山田町	陸前高田市	金石市	宮古市	田野畑村	普代村	野田村	洋野町(旧種市町を含む)	久慈市	岩泉町	岩手県全体
民力総合指数	0.342	0.16	0.15	0.23	0.358	0.523	0.02	0.014	0.05	0.193	0.353	0.099	11
2010年基準被害額(兆円)	0.1274133	0.028829	0.038704	0.007693387	0.023912	0.031163	0.0007031	0.000682	0.003298	0.002964028	0.001808	0.000388	0.34461219

1) 津波による直接被害額推計の一般式

表 1 に示した 12 のデータを対象に回帰分析(図 2 参照)を行い、得られた回帰式を津波の直接被害額推定の基本式とする。ただし、都道府県の場合は式(4)で、市町村の場合は式(3)を用いた変換が必要である。ただし、影響因子は津波高のみによるものと仮定する。

$$Y_{tsu} = 0.0434 \times Se_{24}^{0.9892} \times I_t \quad (4)$$

ここに、 Y_{tsu} : 津波による直接被害額(兆円)、

Se_{24} : 民力総合指数(都道府県別、24 指標)

I_t : 津波補正係数

3.3 被害額補正係数について

図 2 に示したように民力総合指数と直接被害額の関

係より、回帰式として式(4)を得たが、同図に示したように大きなバラツキがあり補正する必要がある。そこで、まず、式(4)から乖離する範囲を概観すると式(4)の傾きを固定した場合、同式の最下方に分布する地域と上方に分布する地域の係数は、0.0045~0.3919 の範囲となる。そこで、係数 0.0045 は津波高 2m に対応し、津波高 5.56m(大船渡市)に対しては 0.3919 となる。すなわち、基本式(4)の定数 0.0434 を 1.00 とすれば、それらの倍率は 0.078~6.82 の範囲となる。

次に、補正係数の最大値を特定する。津波高は奥尻島の西岸に位置する藻内地区の 21m と記録されている。震源地に近かった奥尻町では地震動の被害だけでなく、それに伴って発生した津波により直接被害額は 664 億円となった。そこで、北海道南西沖地震・奥尻町の被害額を用いて基本式(4)の最大補正係数を特定する。式(1)~(3)を利用すると、地震(アンケート震度: 5.5^[9]、民力総合指数: 0.028)による奥尻町の直接被害額推

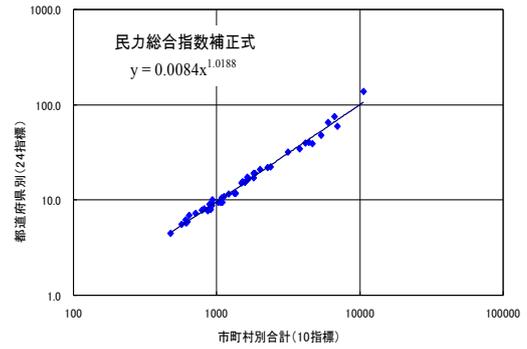


図 1 民力総合指数 10 指標と 24 指標の関係

津波の直接被害額と民力総合指数との関係
1960年チリ地震津波・岩手県

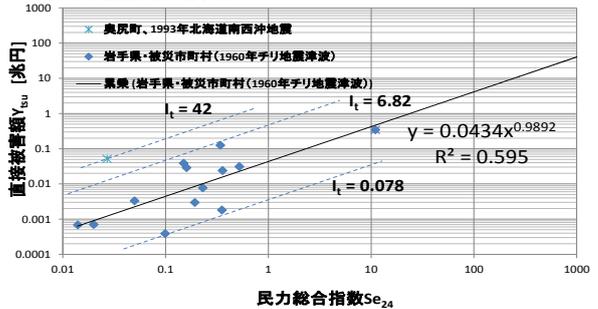


図 2 津波による被害額と民力総合指数との関係

定値は約 143 億円となる。そこで、直接被害総額(658 億円、2010 年基準値)から揺れ(震動)による直接被害額推定値を引いた額を奥尻町の津波による直接被害額とすると、津波に起因する直接被害額は 515 億円となった。この被害額は、基本式(4)の 42.25 倍に相当する値である。すなわち、奥尻町の場合は津波補正係数が基本式の 42 倍、大船渡市の場合は 5.98 倍になることが分かった。津波による被災事例から特殊解として抽出した(表 2 参照)。

この補正係数の特殊解を参考に、既往の災害データを用いた津波高と補正係数の関係について、特殊解にフィットするフレンジリ関数を開発する。図 3 は、既往の津波高に基づく物的被害の状況(同図上段)を、前述の補正係数と関連づけた結果である。例えば、沿岸集落や木造家屋では波高が 2m の時点から被害が発生し始め、2m から 4m の間は緩やかな上昇となるが、4m を超えると波高の上昇に伴い、被害も急激に上昇し、8m を超えると被害率は 100% となっている。先に提案した式(4)と既往の被害事例などに対応させると式(5)となる。

$$I_t = I_{\max} / \{1 + 1.40 \times 10^4 \exp(-1.59 \times H_t)\} \quad (5)$$

I_t : 津波補正係数

H_t : 津波高[単位:m]

{

 1960 年チリ地震津波のみ: $I_{\max} = 6.82$
 1993 年北海道南西沖地震津波による補正: $I_{\max} = 42.25$
}

表 2 津波補正係数の特殊解

項目	説明	津波高 H_t [m]	I_t
特殊解2	1993年北海道南西沖地震・奥尻町	21	42.25
特殊解1	1960年チリ地震津波・大船渡市	5.56	6.82
下限値	被害率が津波高2mから上昇し始める	2	0.078

3.4 推計モデルの適用事例の紹介

ここで提案した直接被害額の予測モデルを東日本大震災の被災地である岩手県大船渡市へ適用した。ただし、地震動と津波による直接被害額は、それぞれ別々推計した上で、被害額の大きい方を推計値とした。なお、入力条件として、民力総合指数:34.2(1/10 万比)、震度:6.0、液状化危険度指数 PL:15、斜面崩壊なし、として算定した結果、地震動のみによる直接被害額は約 343.4 億円と推計された。一方、津波高を 10m(暫定値を参考)とした場合の津波による直

津波強度	0	1	2	3	4	5
津波高(M)	1	2	4	8	16	32
津波形態	観測回	岸で盛り上がる	沖でも水の壁第二波砕波	先端に砕波を伴うものが増える	第一波でも巻き波砕波を起こす	
音響	急激回	速い潮汐	速い	前面砕波による連続音(海嘯、暴風雨)		底での巻き波砕波による大音響(雷鳴、遠方では認識されない)
木造家屋	部分的破壊	全面破壊	持ちこたえる (資料無し)		全面破壊	
鉄・コンクリート	持ちこたえる		持ちこたえる (資料無し)		全面破壊	
船舶	被害発生		被害率50%	被害率100%		被害率100%
防波堤被害	被害軽微	被害発生	被害率50%	被害率100%		被害率100%
防波堤効果	津波軽減	漂流物阻止	漂流物阻止	全面的被害		全面的被害
集積場	被害発生	被害発生	被害率50%	被害率100%		被害率100%
打上高(M)	1	2	4	8	16	32

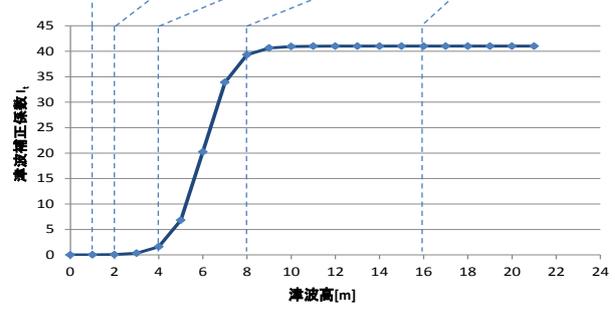


図 3 津波の破壊強度に基づく津波補正係数 (上段の表は首藤^{[10][11]}による)

接被害額は、1993 年北海道南西沖地震による補正係数を考慮した場合:約 5523.3 億円、考慮しない場合:約 918.8 億円となった。大船渡市の現地調査からは、地震動に起因した被害は殆ど確認できず被災地域は津波による流失などが殆どであった。補正值として“北海道南西沖地震”か“チリ地震”の場合かを用いることで大きく推定値が変わるが、ここでは、大船渡市で求めたチリ地震による補正值を用いることとする。その結果、被害額推定値は 918.8 億円となり、東日本大震災による大船渡市の直接被害額に関する集計値 1077 億円(平成 23 年 11 月 15 日現在)とほぼ同額となった。

4. 復興シミュレーションの考え方

被災地で発生する間接被害の推定法には直接的(アンケートなどによる実態調)や間接的な方法で試算が試みられている。ここでは、経済復興を示す指標の一つが GRP(Gross Regional Product;域内総生産)に反映されるものと仮定し、地震が発生しなかった場合の GRP 推移を予測し、地震後の実績 GRP との差分から間接被害推定を試みる方法を開発した。

4.1 GRP(域内総生産)予測に基づく方法

1) 基本モデル

基本とした解析モデルとして自己回帰モデルを用いた。これは、時系列自身の過去の値を説明変数とするモデルであり、説明変数が一定のトレンドを示す際に多用されている。一般式は、

$$x(t) = \sum_{k=1}^p a(k)x(t-k) + u(t) \quad (6)$$

ここで、 $a(k)$:パラメーター値

$$u(t) = \{\dots, u_1, u_2, \dots, u_t, \dots\}: \text{攪乱項}$$

となる。

2) 自己回帰モデルの応用的展開

このモデルは、説明変数が急激な増加減少、突如とした変化が見られる際に多少の誤差が発生する。このような場合は、このモデルの修正が必要となる。1980 年台後半から 90 年代前半のバブル期や震災後の GRP 変動など、急激な変動を伴う時系列現象に対応するため、自己回帰モデルを基本とした予測式(7)を藤澤^[12]は提案している。GRP の変動要因には幾つかあるが、その中でも人口の増減や賃金は、GRP の変動に大きく関与するものと思われる。そこで、基本式を

$$\text{域内 GRP} = (\text{人口}) \times (\text{賃金}) \times (\text{ダミー変数}) \quad (7)$$

とした。ただし、人口は 15 歳以上を対象とし、人口および賃金の推定には自己回帰モデルを用いた。両者とも 5 歳階級別に推定した。以下に(7)式右辺の項目の計算方法について述べる。

1) 人口(5 歳階級別)

5 歳階級別人口予測は、総人口、出生者数、死者数、転出・転入者数から求めた。まず、総人口(H_T)、5 歳階級別出生者数(T_0)および死者数(T_d)を自己回帰モデルにより計算、次に、5 歳階級別に按分した。按分方法については、まず、市町村人口(5 歳階級別)統計データをもとに、5 歳階級別死亡率を乗じて人口を求め、そして、平均を求めることで年齢別(1 歳ごと)人口とした。ここで、0 歳児については T_0 を加算した。

次に、自己回帰モデルより求めた総人口(H_T)と出生、死亡数を考慮して求めた 5 歳階級別人口の総和(T_s)を比較し、その差($H_T - T_s$)を転入・転出による移動と判断

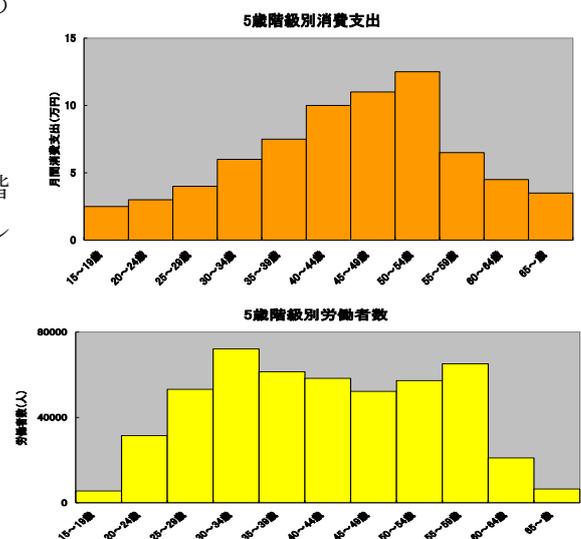


図4 ダミー変数Cを求めるための指標

し、5歳階級別移動率を乗じて階級毎に人数を求め、5歳階級別人口から減じて最終人口とした。

2) 賃金(5歳階級別)

5歳階級別賃金動態は急激な変動が無いので、自己回帰モデルを適用した。

3) ダミー変数

ダミー変数(C)は、消費支出と労働者数から決定した。両者の5歳階級別データは図9に示したよう
にかなり変動している。そこで、式(13)の方法でCを求めた。すなわち、

$$C = [5歳階級別労働者数 / 総労働者数] \times [5歳階級別消費支出額 / 総消費支出額] \quad (8)$$

である。

4.2 予測手法の妥当性の検討

1) 自己回帰モデルによる人口予測

名古屋市における1990～2004年のデータを基に5歳階級別人口について2005～2030年まで年毎に推
定した。この結果と国立社会保障・人口問題研究所が発表している2005～2030年までの5年毎の推計値
(コーホート法)との比較を行った結果、両者の相関値は0.79となり、比較的高い相関値となった。

2) 5歳階級別将来賃金予測

名古屋市をモデル都市として、1989～1995年の各年5歳階級別実績値を基に自己回帰モデルを適用し
1996～2005年の推計値を求めた結果、両者の相関値は0.96となり高い信頼性が確認できた。

4.3 神戸市を対象とした事例分析(間接被害推定結果)

1) 地震発生の有無に基づく人口と消費支出額の変動

神戸市の区別人口推計を概観すると、人口増加傾向にあるのが北区、西区であり、人口減少傾向にあるの
が灘区、長田区、中央区であった。また人口変動が少なかったのは東灘区、兵庫区、須磨区、垂水区である。
この傾向を考察すると、人口増加傾向が見られた2区は西神ニュータウンに代表されるようにニュータウン地
区として発展している地区であり、また広域交通ネットワークが充実され利便性の向上が図られている。

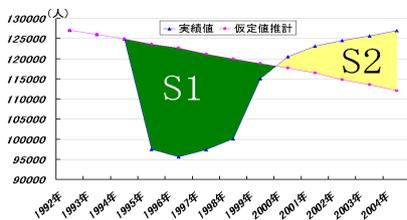


図5 灘区の人口経年変化

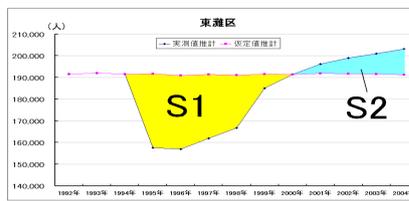


図6 東灘区の人口経年変化

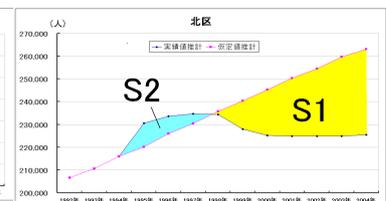


図7 北区の人口経年変化

以上の9区における人口変動予測結果の一例を図5～図7に示した。震災以前では、人口が減少傾向にあ
った灘区(図5)、変動が少なかった東灘区(図6)、そして増加傾向にあった北区(図7)である。

2) 人口変動に伴う消費収支額の算定

神戸市の世帯人員、月平均消費支出額を表5に示す。ただし、2004年に関しては、半年間から得られるデー
タである。表5に示したように、世帯人員数の経年変化動向は、1992年より減少傾向にあったが、震災(1995
年)以後増加し1996年にピークとなり再び減少している。特に、1999年から2000年にかけての減少は急激であ
る。その後は、3人/世帯として安定している。1995年～2000年にかけての急激な変化については、震災復
興による影響かも知れないが、詳細な原因は不明である。また、消費支出額の変動も震災直後(1995～1996
年)に約2.6万円増加し、その後も減額傾向にあるものの震災前と同額になるのは2003年ごろである。このよ
うな傾向も震災復興特需が影響しているかも知れない。以上、神戸市の世帯数および消費支出額から、震災の
影響が無くなる(復興完了)のは2003年ごろと予想される。

4)神戸市 GRP 変動

図 8 は地震が発生しなかったと仮定した場合の神戸市における GRP 推計値(式(12)による)と実績値を比較した結果である。図中の GRP 推計が実績値を上回っている

部分は損失を表し、その逆は収益を生み出したことを表している。2005 年度には震災が無かったと仮定した GRP 予測値とほぼ一致している。経済の影響量として地震発生から 2005 年までの予測値と実績値の差から、約 2.5 兆円となった。この 2.5 兆円の GRP 減少を生み出す経済活動の停滞は不明であるが、相当な金額に成ることは容易に想像できる。

表 3 神戸市世帯人員及び消費支出額

年度	世帯人員(人)	消費支出額(円)	年度	世帯人員(人)	消費支出額(円)
1992	3.32	298,108	1999	3.16	331,948
1993	3.25	308,165	2000	2.93	321,741
1994	3.20	314,598	2001	3.01	317,691
1995	3.24	340,867	2002	2.95	294,542
1996	3.29	342,039	2003	3.03	295,784
1997	3.22	346,948	2004	3.02	281,772
1998	3.19	333,815	平均	3.14	317,540

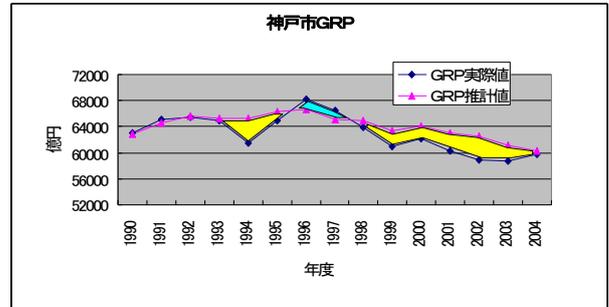


図 8 神戸市における震災による経済(GRP)の影響量

5. まとめ

本研究は地震による経済的な視点からの被害規模推定の基礎的研究の一部であり、幾つかの課題は残されているが、今までの一連の研究から、以下のことが明らかとなった。

1. 地域の経済状況および津波高を考慮した直接被害額の推定式を提案し、東日本大震災の大船渡市をケーススタディとして現地調査なども含めて推定した結果、918.8 億円となり、実績値 1077 億円と極めて近い値となったが、今後、地形特性や浸水範囲などの修正が必要である。
2. 1995 年兵庫県南部地震による神戸市において、「地震発生なし」と「地震が発生」した場合の GRP を比較した場合、両者の差は 2.5 兆円となった。また、両者が一致する時点は、震災から 10 年を要している。
3. 震災後の経済復興として、直接被害額の軽減対策ばかりでなく震災後の復興政策には、人口が大きなポイントとなる事が明らかとなった。

謝辞

本研究の一部は、立命館大学・学内制度・研究推進プログラム・基盤研究「巨大津波地震を対象とした被害額推計方法の開発と防災・復興計画への応用」(研究代表者:谷口仁士)、立命館大学東日本大震災プログラム「広域に渡る地域間連携を念頭に置いた巨大津波地震による被災地復興計画の提案」(研究代表者:谷口仁士)、および科研費 B「逆都市化における頑強性を高めるコンパクトシティ政策シミュレーションに関する研究」(研究代表者:鐘ヶ江秀彦)によるものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1]豊田利久;阪神大震災の経済的諸問題、国民経済雑誌、第 173 巻、第 5 号、神戸大学経営学学会、pp.1-11、1996.5
- [2]Hitoshi Taniguchi: Development of an Estimation Method for Direct Economic Damage Loss caused by Earthquake、九州大学大学院比較社会文化研究科紀要、第 4 巻、pp.19-26、1998
- [3]谷口仁士・鐘ヶ江秀彦:地震災害が地域に及ぼす経済的影響、JCOSSAR 2000、論文集、2000
- [4]田口明秀;地震による直接被害推定式の開発と東海地震への適用、名古屋工業大学大学院平成 14 年度修士論文、2003
- [5]上野幸代:地震による経済被害の定量的予測手法の開発に関する研究、名古屋工業大学大学院平成 16 年度修士論文、2005
- [6]崔青林・朴ジョンヨン・谷口仁士:津波地震による被災地域の直接被害額の推計手法について、地域安全学会梗概集 No. 30 pp. 13-16、2012.6
- [7]岩手県大船渡市:1960 チリ地震津波 大船渡災害誌、1962
- [8]朝日新聞出版編:民力マーケティング・データベース DVD-ROM2010(1989-2010)、朝日新聞出版
- [9]鏡味洋史、岡田成幸、村上公一、高井伸雄:1993 年北海道南西沖地震の北海道内市町村別震度分布調査、文部省科学調査費突発災害調査研究成果、平成 5 年北海道南西沖地震・津波とその被害に関する調査研究、pp. 39-42、1994.3
- [10]首藤伸夫:津波強度と被害、東北大学災害制御研究センター津波工学研究報告 9、pp. 101-138、1992
- [11]首藤伸夫:津波発生時及び来襲時の音響—その 2 昭和三陸大津波による沿岸での音響発生条件—、東北大学災害制御研究センター津波工学研究報告 10、pp. 1-12、1993
- [12]藤澤賢輔:社会経済指標の時系列シミュレーションと地震リスクマネジメント、名古屋工業大学平成 18 年度修士論文