

自然災害に対する全国47都道府県の リスク指標の試算と考察

下野 勘智¹・菊本 統²・伊藤 和也³・
大里 重人⁴・稲垣 秀輝⁵・日下部 治⁶

¹学生会員 横浜国立大学博士前期課程一年 大学院都市イノベーション学府
(〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台79-5)

E-mail: shimono-kanchi-yc@ynu.ac.jp

²正会員 横浜国立大学准教授 都市イノベーション研究院 (同上)

E-mail: kikumoto@ynu.ac.jp

³正会員 東京都市大学准教授 工学部都市工学科 (〒158-8557 東京都世田谷区玉堤1-28-1)

E-mail: itok@tcu.ac.jp

⁴非会員 株式会社土質リサーチ (〒156-0041 東京都世田谷区大原2-27-31-904)

E-mail: shigeto@interlink.or.jp

⁵正会員 株式会社環境地質 (〒210-0014 神奈川県川崎市川崎区貝塚1-4-15-203)

E-mail: inagaki@kankyo-c.com

⁶フェロー会員 茨城工業高等専門学校校長 (〒312-8508 茨城県ひたちなか市中根866)

E-mail: kusakabe@sec.ibaraki-ct.ac.jp

本研究では、災害の頻度や程度を表す曝露と災害に対する社会や経済の脆弱さを表す脆弱性の掛け合わせで定義される世界各国の自然災害に対するリスク指標World Risk Index (WRI) の算出方法を分析し、その意義と課題について考察を行った。つづいて、我が国でも防災・減災対策の合理化に資する総合的な自然災害リスク指標が必要であるという観点から、都道府県レベルで自然災害や社会・経済の様々な要素の相互関係を考慮してリスクを定量化する指標の算出体系について考察を行った。また、リスク指標を構成する脆弱性の中間指標の一つである災害感受性を47都道府県について試算し、結果について考察を行うとともに、我が国における自然災害に対するリスク指標が備えるべきリスク評価体系について議論した。

Key Words : *natural hazards, risk index, vulnerability, susceptibility, disaster prevention*

1. はじめに

我が国は地震や豪雨をはじめ様々な自然災害に頻繁にさらされる自然災害多発国である。近年では、従来の自然災害の形態に加えて、気候変動による降水量増加¹⁾や都市型水害のように災害と被害の形態も多様化している。その一方で、国土の地形・地質や気候条件の違いを適切に考慮しないまま、欧米との社会基盤整備にかかる費用が比較されることも多く²⁾、防災・減災対策に充てられる予算と人員は依然として限られている。昨今の激甚災害に対しては、堤防等の防災施設のハード対策よりも想定を前提としたソフト対策、すなわちハザードマップの整備や避難対策、防災教育の重要性に対する指摘も多いが、ソフト対策とハード対策のバランスを取りながら、

限られたリソースの中で効果的に防災・減災対策を進める重要性³⁾は言うまでもない。このような背景から、自然科学・工学的側面からだけでなく、社会経済的側面を含めた総合的なアプローチに基づいて、早急に対策を講ずるべき自然災害の種類、地域、項目を合理的に選定し、総合的あるいは集中的に対策を講じるための判断基準・意思決定指標が必要である。

世界では、既に自然災害に対するリスク指標の開発が進められ、幾つかの指標が提案されている⁴⁾。中でも、世界各国の災害リスクを定量化する指標としてしばしば取り上げられているのが、ドイツ開発作業アライアンスと国連大学により開発されたWorld Risk Index (WRI) ⁵⁾である。WRIは2011年に公開された後、毎年更新されてきた。同指標は、世界各国の自然災害に対するリスクを、

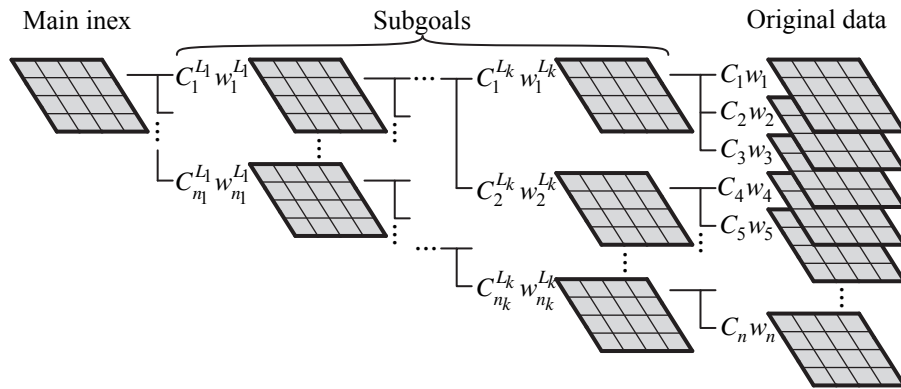


図-1 元データを標準化した指標 C_i と重み係数 w_i から算出する上位階層の中間指標 C_i^{Lk} および主指標

災害の頻度や程度を表す曝露 (Exposure) と災害に対する社会や経済の脆さを表す脆弱性 (Vulnerability) の積として定義されており、脆弱性はさらに災害感受性 (Susceptibility)、対処能力欠如 (Lack of coping capacities) および適応能力欠如 (Lack of adaptive capacities) の3つの中間指標で与えられている。WRIは自然現象そのものだけでなく、社会・経済の様々な要素の帰結としての災害リスクを定量化することを目指しており、防災・減災対策のために早急に対処すべき地域、対処すべきファクターを明らかにするための算出体系が採用されている。一方、著者らは、我が国にも長期的視野に立って総合的な判断と決断を支援する科学的な自然災害リスク指標が必要であるという観点から、国内自治体の自然災害に対するリスク指標 Gross National Safety for Natural Disasters (GNS) の構想を提案し⁶⁾、WRIをはじめとする海外のリスク指標の分析を行ってきた^{7,8)}。なお、GNSの構想に対しては、The Japan Times等のメディアでも必要性が強調されてきた⁹⁾。

本論文では、全国47都道府県の自然災害リスク指標 GNSの開発に向けて、同指標を構成する曝露と脆弱性指標のうち、後者の算出に用いる3つの中間指標の一つである災害感受性 (Susceptibility) を試算し、計算結果について考察を行うとともに、自然災害リスク指標が備えるべき算出体系について議論する。

2. 自然災害に対するリスクの評価体系とWorld Risk Indexの特徴

これまでの著者らの文献調査⁸⁾によると、自然災害に対するリスクは、一般に式(1)のような多変数関数で評価されている。

$$Risk = f(H, E, V, R) \quad (1)$$

ここで、 H 、 E 、 V 、 R は主要指標であり、それぞれ自然災害の規模や発生確率を反映した危険源 (Hazard)、自然災害に晒される度合いを表す曝露 (Exposure)、自然

災害に対する脆弱性 (Vulnerability)、強靱性 (Resilience) を表す。これらはいずれも 0 以上、1 以下の値で与えられる。WRI では自然災害に対するリスクを曝露 \bar{E} と脆弱性 V の掛け合わせで評価している。

$$WRI(Risk) = \bar{E} \times V \quad (2)$$

なお、 \bar{E} は一般的なリスク評価における自然災害の大きさや頻度を反映した危険源 H と曝露 E を反映した値で、World Risk Index に示されている算出方法⁵⁾からは

$$\bar{E} = H \times E \quad (3)$$

ととらえることができる。また、脆弱性 V には強靱性 R も反映されていると考えてよい。

H 、 E 、 V 、 R あるいは \bar{E} といった主要指標は、図-1に示すように、それぞれのカテゴリーに関連する下位階層の中間指標 C_i^{Lk} にその重要度を反映した重み係数 w_i^{Lk} をかけて和をとる形で与えられる。なお、上付きの Lk は主要指標から見た階層の深さで、WRIを含めて自然災害リスク指標の多くは3層程度に階層化されている⁷⁾。同様の計算を繰返して到達する最下層の元指標 C_i は、元の統計データから直接、得られる指標である。ただし、元のデータは様々な大きさや単位をもつため、まず元のデータを0から1の割合に標準化されている。以上の計算は次式でまとめられる。

$$I = \sum_i \left[w_i^{L1} C_i^{L1} \right] = \sum_i \left[w_i^{L1} \underbrace{\sum_j \left\{ w_j^{L2} C_j^{L2} \right\}}_{C_i^{L1}} \right] \quad (4)$$

$$= \sum_i \left[w_i^{L1} \sum_j \left\{ w_j^{L2} \underbrace{\sum_l \left\{ (C_l w_l)_k \right\}}_{C_k^{Ln}} \right\} \right]$$

例えば、WRIでは脆弱性 V を次式で与えている。

$$V = \frac{S + C + A}{3} \quad (5)$$

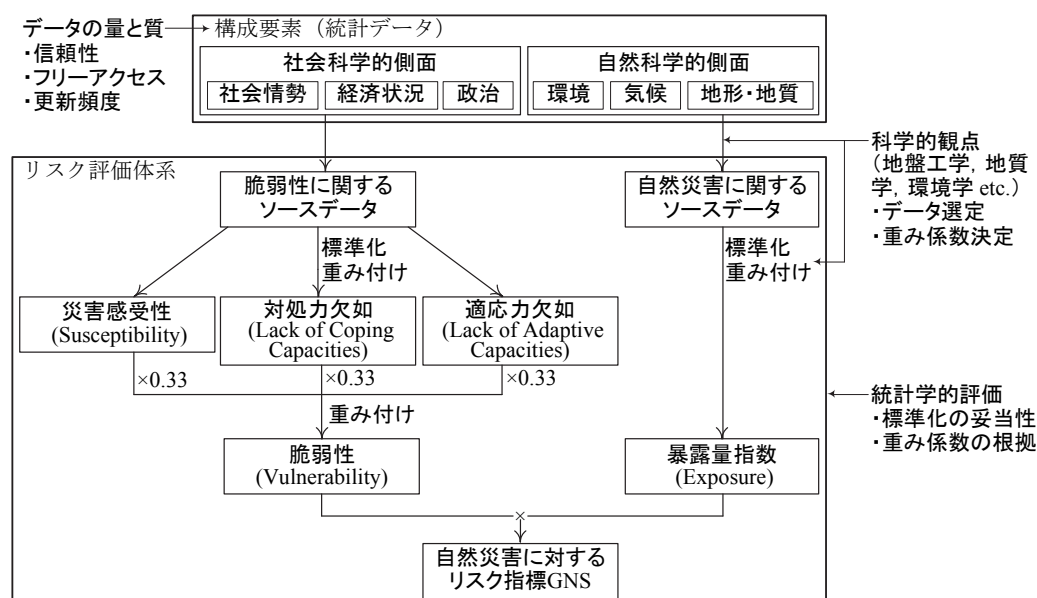


図-2 World Risk Index²³⁾を参考にした全国都道府県の自然災害リスク指標の算出体系

ここに S はインフラ、経済、ハード対策等からみた自然災害により発生した被害の継続しやすさを表す災害感受性 (Susceptibility), C は自然災害や気候変動の被害を直接的に抑える能力の低さを表す対処能力欠如 (Lack of Coping Capacities), A は自然災害や気候変動に長期的に適応するための社会構造や基準の未熟さを数値化する適応能力欠如 (Lack of Adaptive Capacities) を表す。いずれも値が高いほど自然災害リスクが高まることを意味する。なお、式(5)にも示しているように、3つの指標の重み係数はいずれも1/3である。

自然災害に対するリスク指標は、自然災害や人々の住まい方から算出される曝露 E と社会や経済が自然災害に対して内包する脆弱性 V に纏わるデータを融合することで、自然科学と社会科学の両面からバランスのとれたリスク評価体系を形成できる利点がある。WRI に関していえば、同指標の脆弱性指標には、国連ミレニアム開発目標¹⁰⁾に掲げられた経済力や初等教育の世界的格差の是正に関連した統計データが使用されており、災害を深刻化させる要因が積極的に組み込まれている。一方で、自然科学的側面としては自然災害に晒される人口比を曝露の計算に採用しているに過ぎず、天然資源や汚染源などの災害発生の潜在的な自然要因は考慮されていない。

自然災害に対するリスク指標の利用方法としては、算出された各国のリスク値を比較することで自然災害のホットスポットを特定したり、リスク指標の算出過程を遡って元データを検証することでどのような自然災害に遭遇しやすいか分析したり、あるいは自然災害を拡大させる要因を端的に確認することで、防災・減災対策の意思決定に役立てることが想定される。

3. 自然災害に対する全国47都道府県のリスク指標の評価方針

ここでは、前章で説明した自然災害に対する一般的なリスク評価体系を参考にしながら、全国47都道府県の自然災害リスクの評価の在り方を議論する。

本研究で検討するリスク評価体系の概要を図-2に示す。まず、リスク指標の開発にあたって、都道府県レベルでは、世界各国の災害リスクを評価したWRIとは、データの質や量が異なることを考慮する必要がある。WRでは、ウェブサイト等で公開されたフリーアクセス可能な統計データを活用して算出されている一方で、少なくとも国々で統計データが存在しない、あるいは利用できないという課題があり、統計データの幾つかはリスク評価から除外されて、完全に欠落していた。これは世界各国のリスク指標を定量化したWRIでは、特に途上国の統計データが十分ではないこと、地域によって考慮すべき自然災害の種類や性質が大きく異なることが理由であった。実際にWRIでは、表-1のように住宅事情や災害への備え、早期警報、ソーシャルネットワーク、災害への戦略といった指標は考慮する必要性が指摘されているものの、各国のデータの乏しさやデータ取得の難しさを理由に実際のリスク評価に含まれていない⁹⁾。これに対して、我が国の都道府県レベルでは、比較的、社会・経済・自然環境等の様々な統計データが充実しているので、WRIに比べてより詳細なリスク評価を期待できる。

我が国の昨今の自然災害を振り返ると、地震や豪雨による被害が顕著であり、軟弱地盤（沖積地盤、人工地盤）、付加体地盤（断層破碎帯・メランジュ）、火山性地盤（火山灰・変質帯・風化帯）等の地質や急峻な地形との強い相関は明らかである。そこで、開発するリスク

表-1 WRI と国内 47 都道府県の災害感受性の算出におけるソースデータの比較

World Risk Indexの災害感受性	47都道府県の災害感受性
上下水道の整備率	
栄養失調の人口比率	-
従属人口指数	老年人口指数
貧困率 (生活費1.25USD/日の比率)	被保護人員率
一人当たりの国民総生産	一人当たりの県民総生産
ジニ係数(所得の不平等さ)	
-	住宅・公共施設の耐震化率

指標では、地質や地形、気候といった要因を自然科学的観点から適切に考慮して曝露を評価することを目指す。

脆弱性指標を構成する統計データに関しても、国内自治体(都道府県や市町村)は全国で定期的に様々な統計データが収集されており、多くのデータの更新頻度は1年(国勢調査による一部のデータは5年)程度であり、データの信頼性が高く、緻密かつ豊富である。よって、自然災害リスクの算出においては、統計データの信頼性が高く、都道府県間の相対比較が可能であること、リスク指標の変動を定期的に評価できるよう、継続的に更新されているデータであることに留意しながらデータを選定する。なお、WRIで採用された栄養失調、ジェンダ―格差、国政に対する不信度に関するデータおよび国内自治体間でほとんど差を生じないデータは、都道府県レベルのリスク指標の計算からは除外する。

4. 災害感受性(Susceptibility)の試算方法:統計データと標準化の方法

ここからは、前章で説明した47都道府県の自然災害のリスク指標に対して、主要指標である脆弱性を構成する中間指標の一つである災害感受性(Susceptibility) S の試算方法について説明する。災害感受性は、自然災害が発生した際の社会の損害の受けやすさを定量化する値で、社会インフラの整備(公衆衛生や飲料水確保)、栄養摂取、住宅事情、経済状況に基づいて算出される値である。WRIでは、上下水道の整備率、栄養失調の人口比率、従属人口指数、貧困率、一人当たりの国民総生産、所得の不平等さを表すジニ係数が用いられる一方で、住宅事情は世界規模でのデータ収集が困難であるとの理由から除外されている。都道府県レベルのリスク指標では、国内で栄養失調や飢餓はほぼ解消されていることから栄養摂取に関する指標は除外し、住宅事情に関する指標として耐震化率を新たに採用した。採用した統計データの一覧を表-2に示す。データの詳細は以下の通りである。

i) 污水处理人口普及率¹¹⁾

下水道、農業集落排水施設等、合併処理浄化槽、コ

ミュニティ・プラントなどの污水处理施設を利用できる人口の割合である。自然災害発生時に一部污水处理施設の機能が停止した場合、污水处理施設が十分であれば人的影響を最小限に抑えることができる。なお、平成24年度末の污水处理人口普及率は全国で88.1%であり、国内全体で1500万人が未だ污水处理施設を利用していない。

ii) 水道普及率¹²⁾

上水道、簡易水道、専用水道による給水人口の割合である。平成24年度の全国の給水人口は97.7%であるが、普及率の最も低い福島県では90.0%に留まっている。水道の普及は污水处理と同様に常時だけでなく、災害時に水源を確保する重要な役割を果たす。

iii) 住宅の耐震化率¹³⁾

全体の戸建て住宅に対する耐震性のある戸建て住宅の比率である。耐震性のある建物とは、新耐震設計基準(1981年)に基づいて設計された建物、あるいは同基準以前の建物のうち補強工事を済ませた建物を指す。自然災害、特に地震発生時の被害に大きく関わる値である。

iv) 公共施設の耐震化率¹³⁾

戸建て住宅と同じ観点で算出した公立小中学校、病院、防災拠点となる公共施設等の耐震化率の平均値である。

v) 高齢者人口比率¹⁴⁾

15~64歳の生産年齢人口に対する65歳以上の高齢人口の割合である。WRIでは、生産年齢人口に対する若齢(14歳以下)および高齢の人口比率である従属人口指数が用いられたが、我が国は義務教育制度が浸透しており、学校単位での避難行動が可能であり、義務教育以前の幼児は保護者と共に避難行動をとれると仮定して、災害時の避難・救難に他者からの支援が必要になる人口比率という観点で老年人口指数を採用した。

vi) 被保護実人員率¹⁵⁾

全人口に対する生活保護を受ける人口の比率である。国内の生活保護制度は貧困からの救済という観点で

表-2 各都道府県の統計データと災害感受性（災害感受性のランキング順）

		災害 感受性 [%]	汚水処理人 口普及率 [%]	水道 普及率 [%]	住宅の 耐震化率 [%]	公共施設の 耐震化率 [%]	高齢者 人口比率 [%]	被保護 実人員率 [%]	一人当たり 県内総生産 [万円]	ジニ係数
1	高知	29.4	70.5	92.4	70.0	56.7	54.5	1.11	291	0.313
2	徳島	29.0	52.6	96.0	72.0	59.4	49.5	1.95	372	0.334
3	和歌山	27.9	55.2	97.5	70.0	63.9	50.6	0.63	362	0.300
4	岩手	27.1	75.4	91.9	67.0	62.5	48.7	0.72	323	0.311
5	島根	27.1	74.0	96.7	65.0	63.3	54.7	0.87	341	0.294
6	愛媛	27.0	73.0	92.8	71.0	55.8	49.1	0.67	363	0.304
7	秋田	26.9	82.7	90.3	66.0	64.1	54.9	0.98	330	0.297
8	長崎	26.7	75.9	98.5	71.0	57.4	47.4	1.22	316	0.331
9	福島	26.4	76.5	90.2	76.0	55.3	44.6	0.51	331	0.320
10	熊本	26.4	82.2	86.3	72.0	59.5	46.1	0.51	312	0.298
11	大分	26.3	70.0	90.7	70.0	68.0	48.8	1.00	361	0.312
12	山口	26.0	82.9	93.0	70.0	52.2	52.6	0.88	397	0.284
13	青森	25.5	73.9	97.4	71.0	65.4	46.4	1.61	330	0.311
14	鹿児島	25.5	73.3	97.1	71.0	66.3	47.5	1.02	324	0.297
15	佐賀	25.2	76.9	94.6	70.0	64.7	43.8	0.94	318	0.292
16	岡山	24.9	81.7	98.9	70.0	53.8	45.6	0.29	374	0.310
17	香川	24.9	70.9	99.3	72.0	63.1	47.8	0.49	379	0.299
18	奈良	24.3	86.3	99.2	76.0	64.3	44.0	0.90	253	0.311
19	鳥取	24.2	91.0	97.5	70.0	62.6	48.0	1.26	306	0.301
20	茨城	24.2	79.3	93.0	75.0	55.3	40.0	0.87	391	0.305
21	宮崎	24.0	80.3	96.9	72.0	72.6	47.2	0.85	312	0.309
22	広島	23.8	84.4	93.9	74.0	55.1	43.3	0.46	389	0.292
23	山形	23.6	88.6	98.1	74.0	64.7	49.7	0.63	320	0.304
24	新潟	23.3	83.7	98.9	70.0	65.8	47.2	0.38	374	0.303
25	群馬	23.0	74.9	99.5	72.0	66.9	42.4	0.36	385	0.293
26	千葉	22.8	84.4	94.7	82.0	62.7	38.6	0.75	304	0.308
27	岐阜	22.7	88.9	95.8	71.0	67.7	43.7	0.26	347	0.307
28	富山	22.5	94.8	93.2	68.0	66.8	48.8	0.16	412	0.309
29	栃木	22.3	81.6	95.3	76.0	62.2	38.5	0.62	393	0.299
30	埼玉	22.3	88.7	99.7	74.0	65.5	35.9	0.95	282	0.305
31	福井	22.1	92.1	96.4	68.0	66.7	45.3	0.48	407	0.313
32	福岡	22.1	89.0	93.4	79.0	63.1	38.7	1.17	353	0.316
33	山梨	21.7	78.1	97.5	74.0	79.4	43.7	0.72	371	0.311
34	石川	21.5	91.8	98.8	72.0	65.6	43.0	0.28	364	0.287
35	北海道	21.4	94.2	97.9	81.0	60.5	44.1	1.33	336	0.281
36	沖縄	21.2	81.5	100.0	82.0	73.1	28.7	2.31	268	0.339
37	長野	21.2	96.6	98.9	71.0	68.9	48.4	0.40	375	0.291
38	三重	20.3	79.5	99.5	78.0	78.7	43.4	0.97	387	0.282
39	京都	19.7	96.5	99.6	78.0	64.6	41.8	0.56	376	0.274
40	兵庫	19.6	98.4	99.8	82.0	66.3	41.3	0.41	330	0.294
41	静岡	19.6	75.3	99.1	79.0	85.2	42.8	0.35	418	0.301
42	宮城	19.5	88.5	98.7	77.0	82.3	37.5	0.43	328	0.320
43	大阪	19.2	96.4	100.0	83.0	64.0	39.5	0.98	414	0.336
44	愛知	17.5	86.9	99.8	82.0	78.2	35.1	0.31	428	0.307
45	滋賀	17.1	98.4	99.4	78.0	77.2	35.9	0.50	406	0.302
46	神奈川	16.2	97.6	99.8	85.0	85.0	34.6	0.37	335	0.305
47	東京	12.8	99.6	100.0	87.0	76.6	32.8	2.16	695	0.310

は十分に機能していると言えるが、被保護実人員は増加の一途を辿っており、国や各自治体の財政を圧迫すると予想されることから災害感受性の計算に反映させる。

vii) 一人当たりの県民総生産¹⁶⁾

各都道府県の経済力を表す指標である。災害後の早期復旧に対応する経済力や復興資金の確保に関する自治体の能力を反映している。

viii) ジニ係数 (Gini Index) ¹⁷⁾

社会における所得分配の不平等さ、収入格差を表す0～1の係数で、0のとき完全に平等、すなわち全員が同じ収入を得ていることを表し、1に近いほど格差が大きい状態であることを意味する。近年、我が国では増加の一途を辿っている。この係数が0.4に達すると暴動等の社会騒乱多発への警戒が必要になると言われており、災害発生時の社会秩序の安定度を評価する指標と言える。

以上の統計データから災害感受性 S を計算する際には、必要に応じてデータを0～1の値に標準化するとともに、値が大きいほど災害感受性および自然災害リスクを高めるように元指標 C_i の正負の向きを調整しておく必要がある。まず、i)～iv)の統計データは百分率で与えられ、値が高いほど自然災害に対するリスクが抑えられるデータ群であるので、統計データ x_i [%] から次式により元指標 C_i を求める。

$$C_i = 1 - \frac{x_i}{100} \quad (6)$$

v)～vi)は百分率で与えられ、値が高いほど自然災害に対するリスクが高まる方向に作用するデータ群である。よって、統計データ x_i [%] を割合に換算して指標 $C_i (= x_i/100)$ とする。また、viii)のジニ係数は値の性質上、そのまま C_i として用いる。最後に、vii)の各県の一人当たり県内総生産 v_i は、全都道府県最大の一人当たり県内総生産を v_{\max} として、常用対数を用いて全都道府県の最大値に対する相対的な値に標準化する。

$$C_i = -\log \frac{v_i}{v_{\max}} \quad (7)$$

元指標 C_i から主要指標である災害感受性を算出する過程では、式(4)を用いた。まず、中間指標として、i)とii)から社会インフラの整備状況 C_1^{L2} 、iii)とiv)から住宅事情 C_2^{L2} 、v)とvi)から人口構成・依存度 C_3^{L2} 、vii)とviii)から経済状況・格差 C_4^{L2} をそれぞれ均等な重み係数 $w_i^{L2} = 0.50$ で算出した。こうして得た4つの中間指標 C_i^{L1} に均等な重み係数 $w_i^{L1} = 0.25$ を乗じて災害感受性を算出した。

$$Susceptibility = \sum_{i=1}^4 w_i^{L1} C_i^{L1} = \frac{\sum_{i=1}^4 C_i^{L1}}{4} \quad (8)$$

5. 結果と考察

前出の表-2には、i)～viii)の統計データに加えて災害感受性 S の試算結果も示している。また、統計データと災害感受性の都道府県分布を図-3に示す。同図の災害感受性は高い値であるほど、また元指標群は災害感受性を高める値であるほど暖色になるグラデーションで表示している。この図より、都市部ではインフラ整備（汚水処理人口普及率、水道普及率）や耐震化率の数値が高く、高齢者人口比率は低くなっているため、都市部の災害感受性は低く抑えられる傾向にあり、東京都や神奈川県、大阪、愛知といった都市圏は下位に位置した。一方、地方は相対的に災害感受性が高くなる傾向にあり、高知県、徳島県、和歌山県の順に災害感受性が高く、それ以外でも上位に位置するのはいずれも地方の都道府県という結果になった。ただし、以上の試算結果は、採用した統計データの種類や標準化の方法、設定した重み係数によって幾らか異なってくることに注意が必要である。

さて、ここでの目的は、都道府県ごとに試算した災害感受性の多寡を比較することではなく、主要指標の算出方法の特徴や課題を検討し、採用する統計データと主要指標への影響について考察を行い、都道府県の自然災害リスクの評価体系のあるべき姿を示すことである。そこで、統計データから得た元指標 C_i と災害感受性 S の相関分析を行い、結果を表-3に示す。この表には、試算結果に及ぼす人口の影響についても検討するため、各都道府県の総人口との相関関係も示した。

災害感受性と元指標の相関について、相関係数はおおむね0.6以上であることから、いずれの指標もバランスよく災害感受性に反映されており、特定の元指標に試算結果が左右されてはいないことが確認できる。また、元指標同士の相関はおおむね低い値を示していることから、災害感受性の算出過程においてそれぞれの元指標は独立した要素としての機能を果たしていると言える。ただし、住宅耐震化と老年人口には0.813と強い正の相関がみられることから、多くの高齢者が居住する地域では、住宅の高齢化も進んでいることが考えられる。

所得格差を表すジニ係数は都道府県間のばらつきが少なく、災害感受性にはほとんど影響しなかった。また、被保護実人員率は東京や沖縄県で2.0を超えており、最低値を示した富山県の0.16とは10倍以上の差が生じていたものの、他の指標に比べて数値が絶対的に小さい値になっているため、均等な重み係数で足し合わせる過程で災害感受性にはあまり影響しない結果となった。このように、元指標や中間指標が上位の指標に及ぼす影響については、数値が計算結果に影響を及ぼすので、指標の重要度だけでなく、数値の多寡も考慮して重み係数を設定することが望ましい。しかしながら、重み係数を理論的

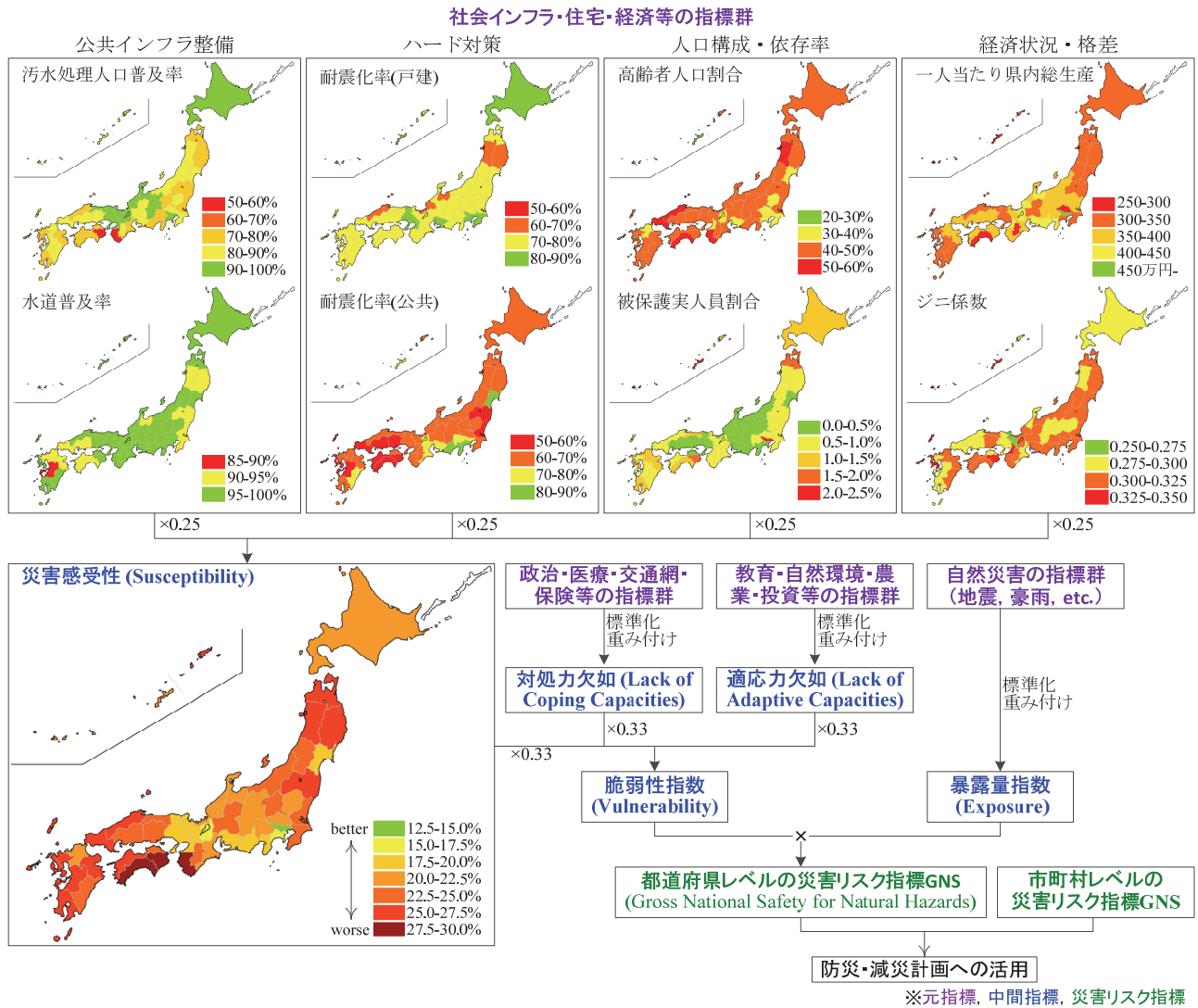


図-3 都道府県レベルでの災害感受性 (Susceptibility) の算出結果とGNS指標の算出過程および防災計画とのつながり

表-3 災害感受性とoriginal indexの相関分析表

	災害感受性	汚水処理	水道整備	住宅耐震化	公共施設耐震化	老年人口	被保護実人員数	一人当たり県内総生産	ジニ係数	総人口
災害感受性	1.000									
汚水処理	0.751	1.000								
水道整備	0.600	0.306	1.000							
住宅耐震化	0.772	0.467	0.438	1.000						
公共施設耐震化	0.700	0.280	0.503	0.450	1.000					
老年人口	0.776	0.478	0.447	0.813	0.492	1.000				
被保護実人員数	0.079	0.212	-0.042	-0.196	0.069	-0.130	1.000			
一人当たり県内総生産	0.495	0.199	0.161	0.241	0.215	0.181	0.046	1.000		
ジニ係数	0.088	0.203	0.013	-0.126	-0.035	-0.216	0.398	0.135	1.000	
総人口	-0.698	-0.500	-0.328	-0.777	-0.311	-0.630	0.153	-0.425	0.087	1.000

に決定する手法はないため、その設定方法は過去の災害事例調査や統計分析を行うことで、さらに検討する必要がある。

人口と災害感受性の相関関係について、三大都市圏をはじめとする都市部の都道府県で災害感受性は低い結果

になったのは前述のとおりであるが、総人口と災害感受性の相関関係については-0.698と負の相関を示した。これは災害感受性が、都市インフラの整備状況や人口構造など都市部において良好な値を示す統計データを採用するためと言える。しかし、大きさや単位が異なる様々な

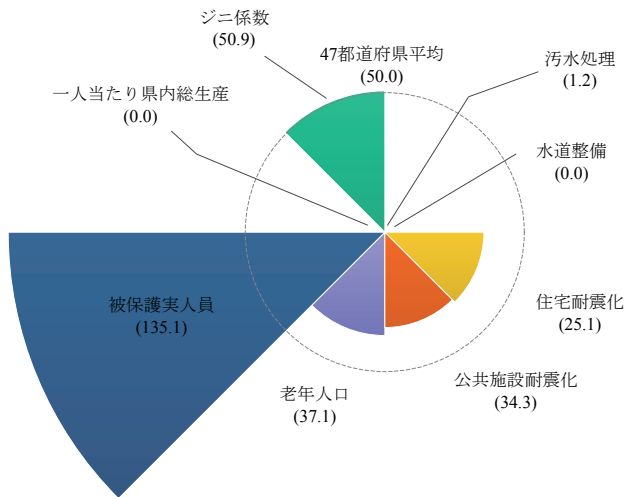


図4 東京都の災害感受性を構成する元指標

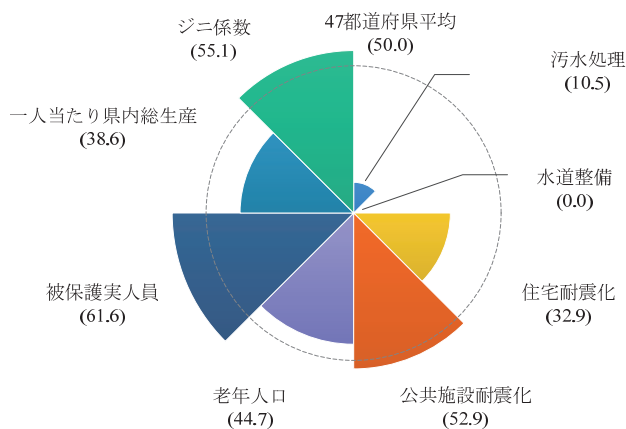


図5 大阪府の災害感受性を構成する元指標

統計データからの主要指標の算出は、データの選定や標準化の方法、重み係数の決定方法に否応なく影響を受けるものであり、リスク指標を実際に利用する際に都市と地方で主要指標の値の定性的な比較を行うことに重大な意味はないと考える。むしろ、リスク指標の適用性と限界を明確に示すとともに、その適切な解釈や利用法を併せて示すことが重要と考える。

そこで、東京都と大阪府について、災害感受性を構成する元指標を示しながらリスク指標の利用方法の一例を示すとともに、主要指標の算出方法の課題について議論する。図4、図5はそれぞれ東京都と大阪府の災害感受性の算出に用いた構成する8つの元指標の分布である。円グラフの半径と括弧内の値は、それぞれの元指標の47都道府県の平均値を50とした相対的な大きさを表している。図より、東京都は多くの元指標が全都道府県の平均値以下になっているが、被保護実人員は全国平均の2.6倍程度の値を示している。一方、大阪府は東京都よりも被保護実人員の元指標が小さい値であるものの、それ以外の項目は東京都を上回っている。災害感受性の算出に用いる統計データの選定は別として、いったん算出した

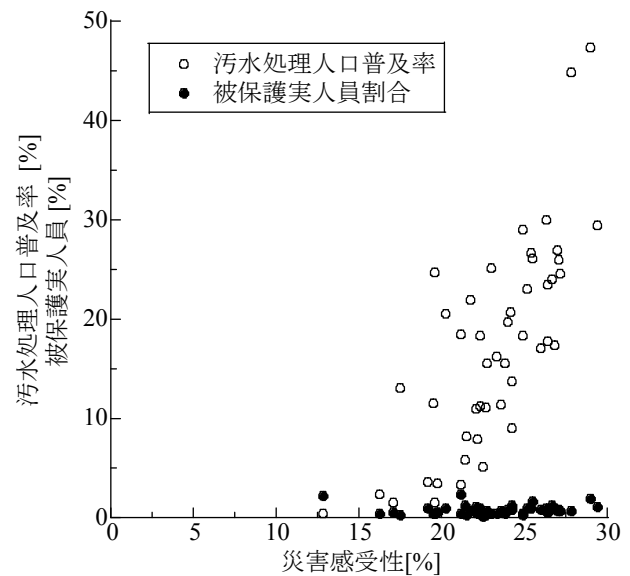


図6 汚水処理と被保護実人員の大きさとばらつき

災害感受性について同図のように元指標のバランスを再確認することで、東京では被保護者の減少に向けた集中的な対策、大阪府では被保護者の減少に加えて、公共施設耐震化やジニ係数の改善に向けたバランスのよい対策をとることが、主要指標である災害感受性を効果的に改善する方法であると言える。ただし、表2のデータから災害感受性と汚水処理人口普及率および被保護実人員の関係を示した図6では、被保護実人員は汚水処理統計データに比べて数値がかなり小さいことがわかる。また、表3にも示したように、被保護実人員は災害感受性との相関が低く、値を減少させても災害感受性に及ぼす影響は小さい。このような主要指標を算出する際の元指標の多寡や影響度合いは、重み係数の設定により幾らか改善できるが、妥当な係数の設定方法については今後、更なる検討が必要と言える。

ところで、ここでは世界各国を対象としたWRIの計算方法を参考にしながら国内都道府県の災害感受性を試算したため、元指標に水道普及率を採用したが、東京都と大阪府では水道整備率が100%であり、他の都道府県でもかなり高い値である。一方で、例えば大阪府では上水道管路の老朽化が指摘されており¹⁸⁾、水道普及率のみでは必ずしも水道インフラの現状を測ることができない。したがって、都道府県レベルでの自然災害リスクの定量化にあたっては、採用する統計データの種類にも注意が必要であろう。

6. 結論

自然科学と社会科学の観点から世界各国の自然災害に対するリスクの定量化を試みたWorld Risk Indexの特徴と課題を概観するとともに、我が国にも長期的・総合的な

防災・減災対策の遂行を支援する科学的なリスク指標が必要であるとの考えから、我が国の都道府県レベルで自然災害に対するリスク指標Gross National Safety for Natural Hazards (GNS) の開発方針を説明した。

都道府県レベルでのリスク指標の開発にさきがけて、脆弱性を構成する3つの中間指標の一つである災害感受性を試算した。試算結果からは、採用した統計データの大半が、バランスよく上位階層の災害感受性に反映される一方で、標準化後の数値が小さい統計データは災害感受性との相関が低く、試算結果にはあまり影響しない結果が示された。以上の結果からは、データの標準化と上位階層の指標を求める際の重み係数の設定方法について、各データの重要性だけでなく、上位階層との相関や影響度合いも含めて統計的な視点での分析が必要であることが示唆された。また、WRIの計算方法に準じたリスク評価方法では、国内都道府県の実情にそぐわないデータもあるため、リスク評価に用いる統計データの選定には十分、留意する必要があることを指摘した。

リスク指標の利用方法としては、災害感受性など算出した上位階層の指標の多寡を殊更に比較することではあまり重要でなく、統計分析等を利用しつつリスク指標の適用範囲と限界を明示し、あくまで防災・減災政策の意思決定のための支援ツールとして、自然災害のホットスポットの特定や優先的な対策項目の抽出に利用することが肝要であると述べた。

今後は、曝露や脆弱性の計算方法を確立し、都道府県レベルでのリスク指標の開発を進めるとともに、マルチスケールでの自然災害リスクの評価を目指して、市町村レベルでも自然災害リスクの評価を試みる予定である。その中で、リスク評価体系についても、WRIの計算方法にとらわれず、脆弱性の下位階層の中間指標を堤防等の防災施設のハード対策とハザードマップの整備や避難対策、防災教育等のソフト対策で構成することを試みるなど、より説明能力が高いリスク指標の開発を目指して検討を行う計画である。

謝辞：本報告は、科学研究費 挑戦的萌芽研究「自然災害安全性指標 (GNS) の開発」(研究代表者：日下部治、課題番号25560184) による成果であり、地盤工学会関東支部「地盤リスクと法・訴訟等の社会システムに関する事例研究委員会」脆弱性評価WGメンバーの支援を受けた。ここに記して謝意を示す。

参考文献

- 1) 気象庁：気候変動監視レポート 2014.
- 2) 大石久和, 川島一彦：脆弱国土を誰が守る, 中央公論, Vol. 113, No. 7, pp. 148-165, 1998.

- 3) 関谷直也：東日本大震災における「避難」の諸問題にみる日本の防災対策の陥穽, 土木学会論文集 F6 (安全問題), Vol. 68, No. 2, pp. 1-11, 2012.
- 4) Birkmann, J. (eds.) : *Measuring Vulnerability to Natural Hazards*, United Nations University Press, 2006.
- 5) Garschagen, M., Mucke, P., Schaubert, A., Seibert, T., Torsten, W., Birkmann, J. and Rhyner, J. : *World Risk Report 2014*, German Alliance for Development Works and United Nations University - Institute for Environment and Human Security, www.WorldRiskReport.org (2015/10/2 アクセス), 2014.
- 6) 日下部治, 伊藤和也, 小梅川博之, 稲垣秀樹, 大里重人：地盤リスクに関する保険制度と統一的評価手法の必要性, 地盤工学会誌, Vol. 61, No. 7, pp. 12-15, 2013.
- 7) 日下部治, 伊藤和也, 稲垣秀樹, 渡邊康司, 菊本統, 大里重人：自然災害に対する脆弱性の計測—世界の動向—, 第 49 回地盤工学研究発表会講演概要集, pp. 67-68, 2014.
- 8) 下野勘智, 菊本統, 伊藤和也, 大里重人, 稲垣秀樹, 日下部治：自然災害に対するリスク指標 World Risk Index の我が国における推移と考察, 地盤工学会関東支部発表会 (Geokanto2014) 講演概要集, DS2-1, 2014.
- 9) Roger Pulvers : Japan's disasters must prompt a radical rethink of citizens' quality of life, The Japan Times, www.japantimes.co.jp/opinion/2012/03/11/commentary/japan-disasters-must-prompt-a-radical-rethink-of-citizens-quality-of-life (2015/10/2 アクセス), 2012.
- 10) United Nations : Millennium Development Goals, www.un.org/millenniumgoals/ (2015/10/5 アクセス), 2000.
- 11) 環境省：平成 24 年度末の汚水処理人口普及状況について, www.env.go.jp/recycle/jokaso/data/population/pdf/osui-h24.pdf (2015/10/2 アクセス), 2013.
- 12) 厚生労働省：平成 24 年度 給水人口と水道普及率について, www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/topics/bukyoku/kenkou/suido/database/kihon/fukuyuritsu.html (2015/01/15 アクセス), 2013.
- 13) 国土交通省：耐震化の進捗について, www.mlit.go.jp/common/000133730.pdf (2015/10/06 アクセス), 2015.
- 14) 総務省統計局：2013 年人口推計, www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001118081 (2015/10/06 アクセス), 2014.
- 15) 総務省統計局：平成 24 年度被保護者調査, www.e-stat.go.jp/SG1/estat/GL08020103.do?_toGL08020103_&lid=000001119498&requestSender=search (2015/10/06 アクセス), 2013.
- 16) 内閣府：平成 23 年度県民経済計算, www.esri.cao.go.jp/jp/sna/data/data_list/kenmin/files/contents/main_h23.html (2015/01/15 アクセス), 2012.
- 17) 総務省統計局：平成 21 年度全国消費実態調査, www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?bid=000001034909&cycode=0 (2015/10/06 アクセス), 2010.
- 18) 大阪府：大阪府の水道の現況 (平成 25 年度), www.pref.osaka.lg.jp/attach/4823/00184205/roukyuutaisakutougou.pdf (2015/10/06 アクセス), 2012.

(2015. 10. 8 受付)

A PROVISIONAL CALCULATION OF RISK INDEX OF NATURAL DISASTERS FOR FORTY SEVEN PREFECTURES OF JAPAN

Kanchi SHIMONO, Mamoru KIKUMOTO, Kazuya ITOH, Shigeto OSATO,
Hideki INAGAKI and Osamu KUSAKABE

We discussed effectiveness and limitation of a risk index of natural disaster for the countries of the world, World Risk Index, which is defined as the product of exposure and vulnerability, and discussed its effectiveness and limitations. We emphasized necessity of a concept of a natural disaster risk index for forty seven prefectures of Japan from the viewpoint of rational countermeasures against natural hazards based on scientifically reliable index. We conducted a provisional calculation of susceptibility, a intermediate index consisting the vulnerability of the risk index, and discussed essential points and issues of the evaluation system of the risk index.