

関東平野の災害指標



公益社団法人地盤工学会関東支部

自然災害に対する安全性指標（GNS）の開発と
その利活用に関する研究委員会 委員長

伊藤 和也（東京都市大学）



発表の流れ

1. 日本の地盤の特徴 ～脆弱国土“日本”～
2. 脆弱国土に対応した統一指標の必要性
3. 自然災害に対するリスク指標GNS
 - (1) GNSリスク計算式
 - (2) 都道府県版GNS
 - (3) マルチスケールでのGNS評価（市町村版）
 - (4) GNSリスクの計算フロー
 - (5) 土砂災害の災害曝露量を市町村別に変更
 - (6) 災害曝露量に洪水災害を追加
4. まとめ

脆弱国土 “日本”

中央公論 1998年6月号 「脆弱国土を誰が守る」



「日本の自然条件は特殊だという久しく忘れていた認識が、兵庫県南部地震によって改めて思い起こされた。その特殊性を諸外国との比較の中できちんと認識することこそ国土の有効利用と適正管理を実現していくためにいま必要とされている」

災害脆弱性の観点から
日本の自然条件は極めて特殊であると指摘



大石久和
建設省大臣官房技術審議官(当時)
元 国土交通省技監

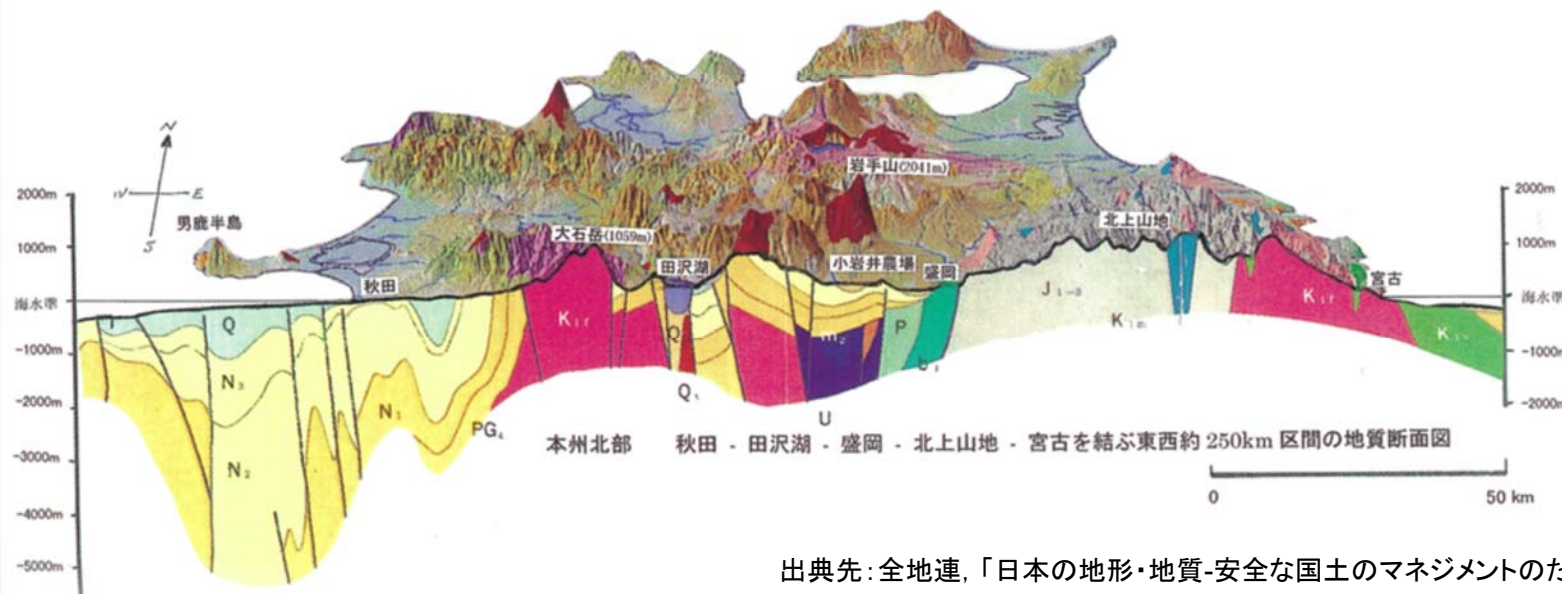
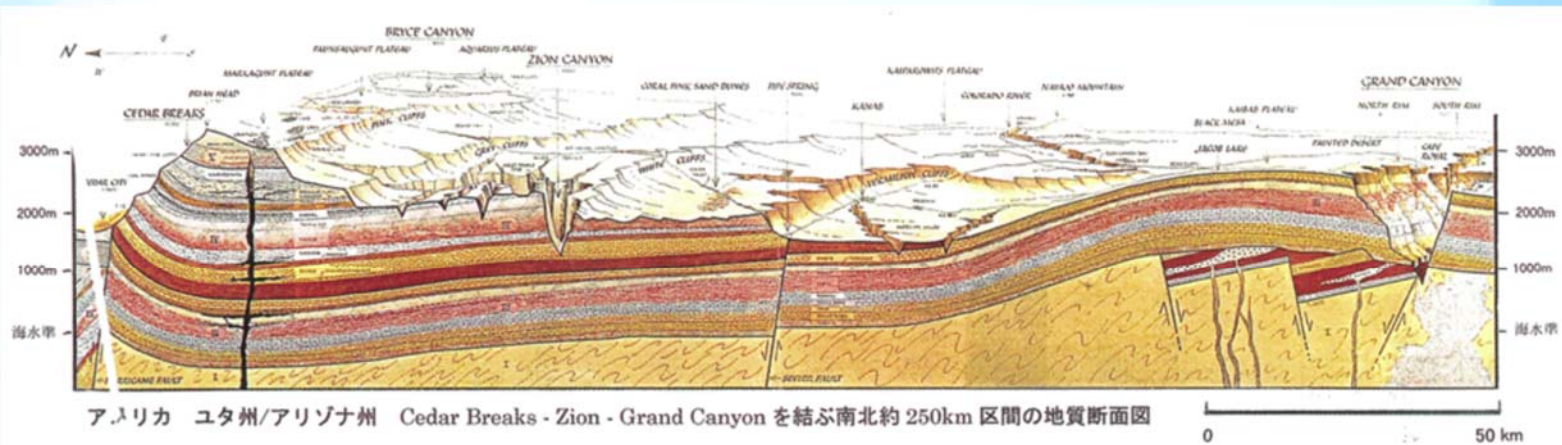


川島一彦
東京工業大学教授
(当時)

脆弱国土“日本”

日本と米国の地質の違い

グランドキャニオンと東北地方の地質断面図(同一縮尺)



脆弱国土“日本”

日本と欧米の地質の違い

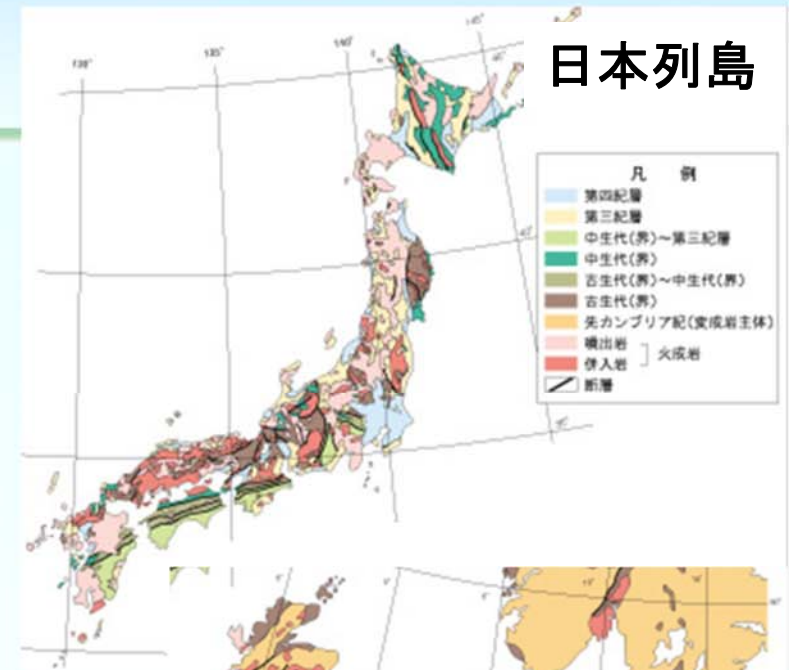
日本と欧米の地質図(同縮尺)

✓ 日本の地質

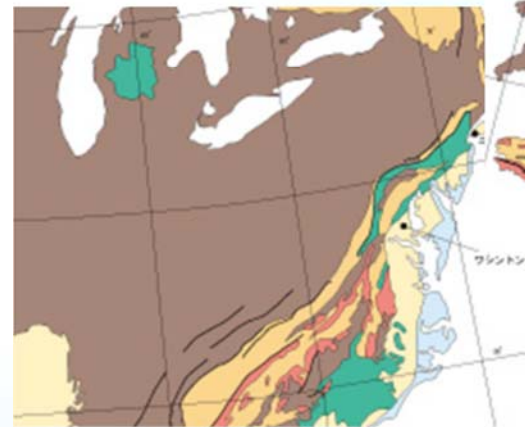
→花崗岩(赤色系統), 火山岩類, 新期の堆積岩類がモザイク模様のように複雑に分布

✓ 欧米の地質

→古期の片麻岩類や古生代以降の堆積岩類を主体とし, 地層構造が単調であり安定した大陸地殻を形成



ヨーロッパ中北部



アメリカ東部

脆弱国土“日本”

日本と欧米の地質の違い

スペイン



安定した堆積岩
→道路部分を切土したのみ

福島県 磐梯山付近

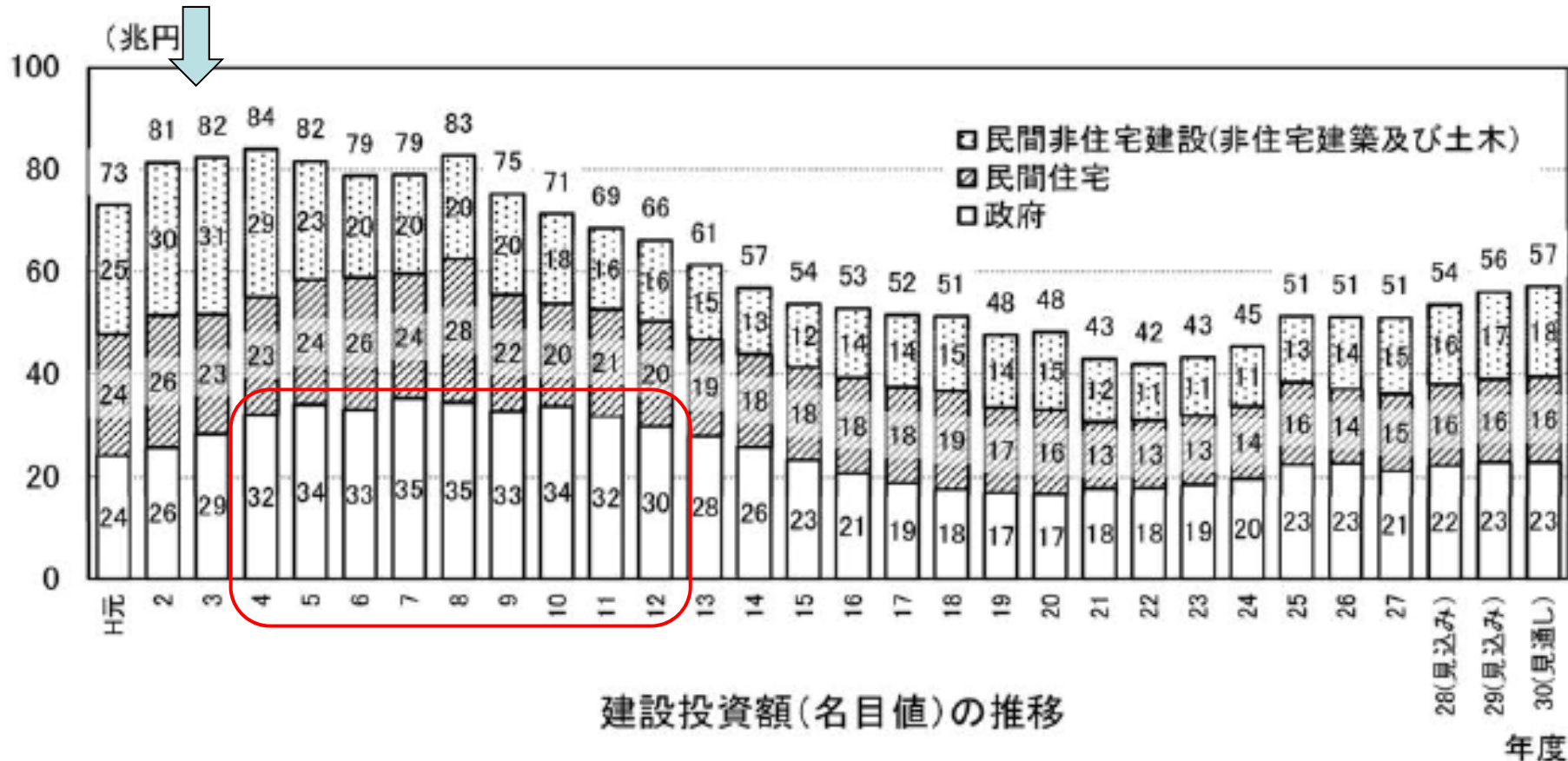


火山岩類の堆積
→斜面部は法枠工により保護

公共事業への評価

建設投資額の年度別推移

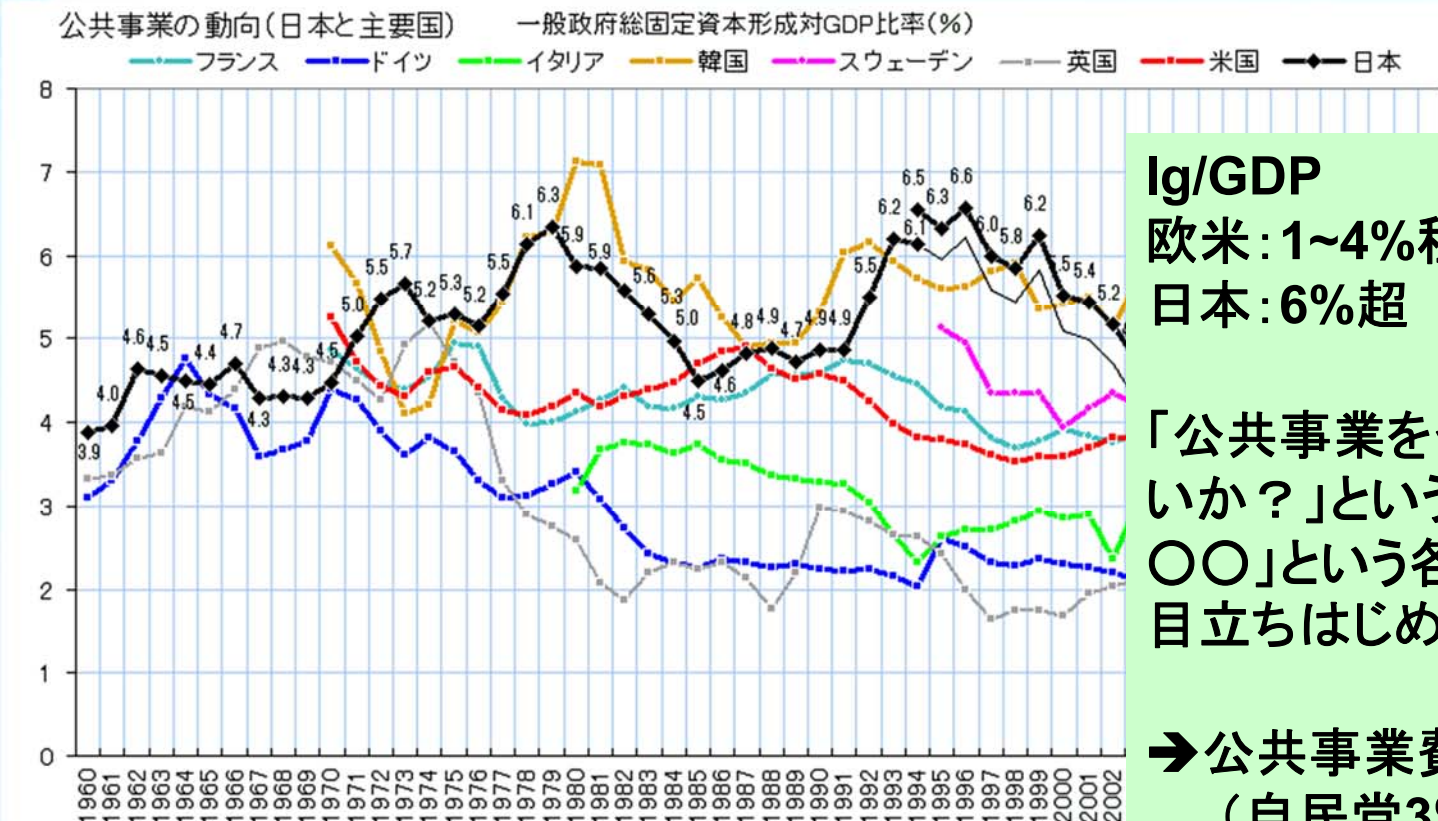
バブル崩壊



バブル崩壊後の財政出動→30兆円超の公共投資
対GDPに対する公的固定資本形成(Ig)の比率(Ig/GDP)

公共事業への評価

対GDPに対する公的固定資本形成(Ig)の比率(Ig/GDP)



Ig/GDP
 欧米: 1~4%程度
 日本: 6%超

「公共事業をやり過ぎではないか？」という論調 & 「無駄な〇〇」という各論がマスコミで目立ちはじめ、国会でも追及

➔ 公共事業費の削減 (自民党3%削減/年)

(注) 数字は日本の値。日本の値は1994年以降2008SNAIによる(同年以降の93SNAI日値は細線で示す) イツの値。フランス、英国はそれぞれOECD.Statの2015年、11・15年のデータと接続

(資料) OECD, "National Accounts of OECD Countries" 1999 (CD-ROM), OECD.Stat (Data extracted on 23 Dec 2016)
 内閣府「平成10年度国民経済計算確報」(日本1960~79年)、「平成21年度国民経済計算確報」(日本1980~1993年)、
 「平成27年度国民経済計算確報」(日本1994年以降) 「社会実情データ図録」 <http://www2.ttcn.ne.jp/honkawa/> (Dec.30,2016)

脆弱国土に対応した統一指標の必要性

自然災害に対する防災・減災投資の配分方法

- ・一般政府固定資本形成対GDP比 (Ig/GDP)
- ・費用対便益 (B/C)

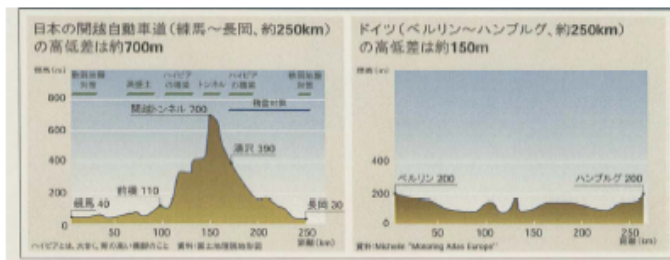
【実際】→単純比較では説明できない

日本の厳しい国土条件

急峻な山脈、軟弱地盤や断層等、独特な地形・地質条件を有する日本では、橋梁やトンネル等の構造物の設置や軟弱地盤対策が必要

- ・平地が山脈に分断されている日本では、それを横断する道路整備を行う場合、トンネルや橋梁等の構造物が必要となるが、平坦な地形が卓越する欧米では、それら構造物の必要量は小さい。
- ・そのため、同機能の社会資本整備に必要な投資規模は、欧米に比して大きくなる。

日本とドイツの道路高低差の比較



日本と米国の構造物比率の比較

	構造物比率
日本	36%
米国	6.6%

日本: 日本道路公団の昭和63年～平成4年
供用路線の平均値
米国: 州際道路全路線の平均値
(1993年度のデータから作成)

資料: 平成7年(社)国際建設技術協会の資料による

$$\text{構造物比率} = \frac{\text{橋梁延長} + \text{トンネル延長}}{\text{全体延長}}$$

国交省等は国土条件の比較からIg/GDPが欧米より高いことを説明



社会意思の決定のためには(世界的な)統一指標が必要

脆弱国土に対応した統一指標の必要性

World Risk Index(国連大学が主導)

Alliance Development Worksが発刊している「World Risk Report」にて世界ランキングを表示し、世界各国が直面するリスクを解説している



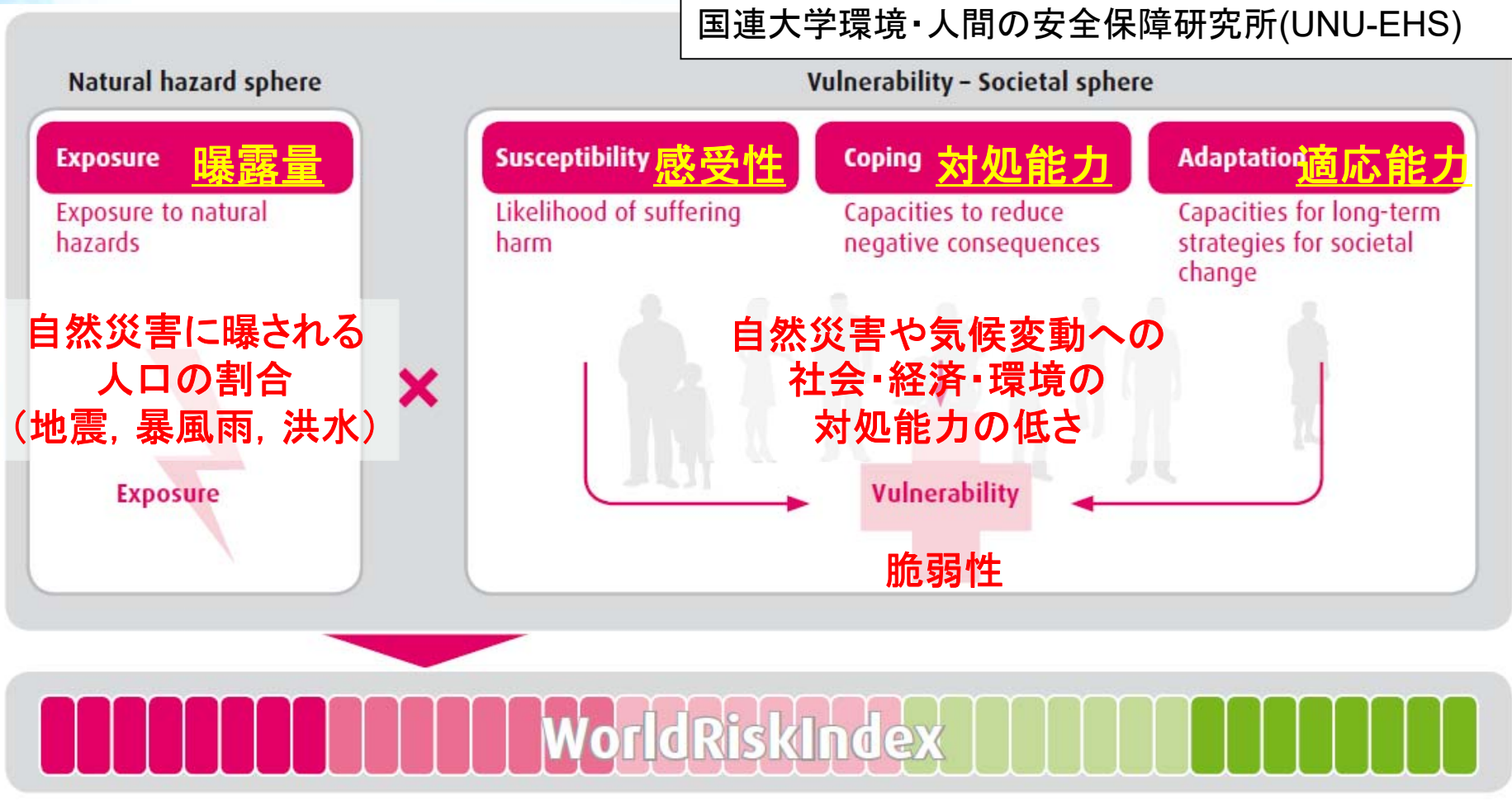
2011年から毎年発刊され
最新版は2017年版

<https://weltrisikobericht.de/english-2/>

脆弱国土に対応した統一指標の必要性

World Risk Index 算定方法

国連大学環境・人間の安全保障研究所(UNU-EHS)



災害リスク指標

脆弱国土に対応した統一指標の必要性

World Risk Index 算定結果

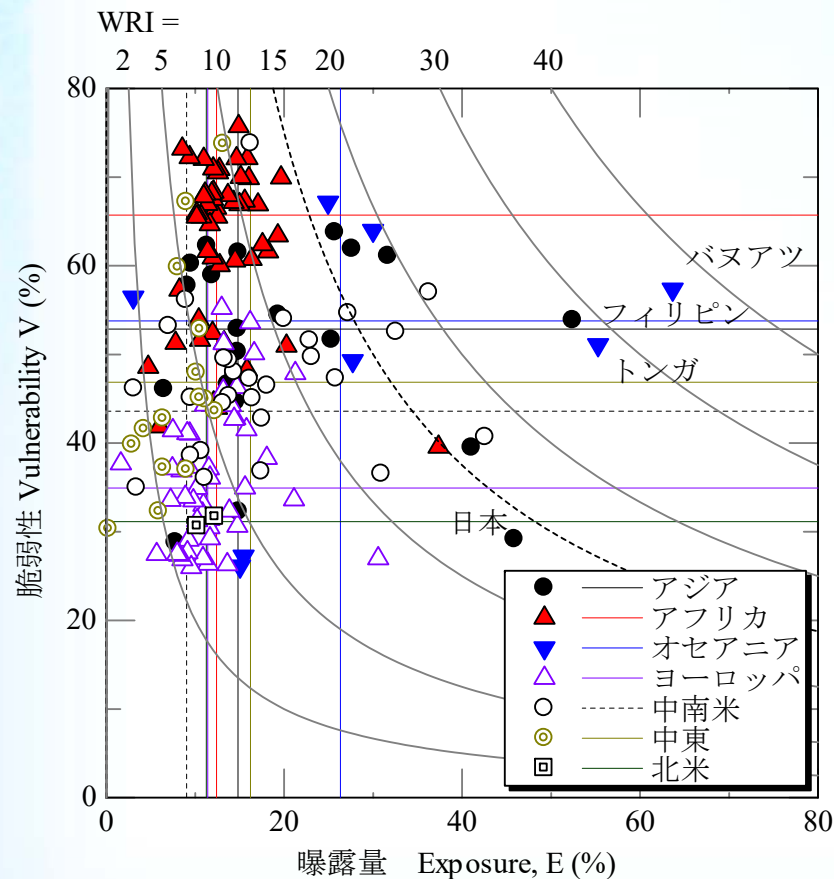
Rank	Country	WorldRiskIndex	Exposition	Vulnerability	Susceptibility	Lack of coping capacities	Lack of adaptive capacities
1.	Vanuatu	36.72 %	63.66 %	57.68 %	35.69 %	81.16 %	56.20 %
2.	Tonga	28.45 %	55.27 %	51.47 %	28.78 %	81.80 %	43.82 %
3.	Philippines	27.98 %	52.46 %	53.33 %	32.00 %	80.06 %	47.94 %
4.	Guatemala	20.10 %	36.30 %	55.36 %	34.52 %	80.08 %	51.48 %
5.	Solomon Islands	19.29 %	29.98 %	64.34 %	44.55 %	85.66 %	62.82 %
6.	Bangladesh	19.26 %	31.70 %	60.76 %	39.05 %	86.55 %	56.69 %
7.	Costa Rica	17.17 %	42.61 %	40.29 %	21.60 %	64.34 %	34.94 %
8.	Cambodia	16.82 %	27.65 %	60.84 %	39.50 %	86.95 %	56.07 %
9.	Papua New Guinea	16.82 %	24.94 %	67.46 %	55.29 %	84.07 %	63.02 %
10.	El Salvador	16.80 %	32.60 %	51.53 %	29.83 %	74.90 %	49.85 %
11.	Timor-Leste	16.23 %	25.73 %	63.09 %	51.31 %	81.46 %	56.48 %
12.	Brunei Darussalam	16.15 %	41.10 %	39.28 %	17.76 %	63.28 %	36.80 %
13.	Mauritius	14.66 %	37.35 %	39.25 %	18.24 %	61.53 %	37.98 %
14.	Nicaragua	14.63 %	27.23 %	53.75 %	37.03 %	80.37 %	43.85 %
15.	Guinea-Bissau	13.78 %	19.65 %	70.09 %	53.24 %	89.61 %	67.42 %
16.	Fiji	13.47 %	27.71 %	48.63 %	24.84 %	75.10 %	45.93 %
17.	Japan	13.35 %	45.91 %	29.08 %	17.64 %	37.88 %	31.72 %
18.	Viet Nam	12.89 %	25.35 %	50.87 %	25.90 %	76.73 %	49.98 %
49.	Suriname	8.36 %	18.12 %	46.13 %	27.51 %	70.85 %	40.01 %
50.	Netherlands	8.29 %	30.57 %	27.12 %	15.09 %	42.47 %	23.80 %
51.	Malawi	8.27 %	12.34 %	66.98 %	60.43 %	84.03 %	56.49 %
52.	Kyrgyzstan	8.25 %	16.63 %	49.61 %	26.66 %	76.08 %	46.08 %

1.バヌアツ, 2.トンガ, 3.フィリピン, ...17.日本, ...50.オランダ

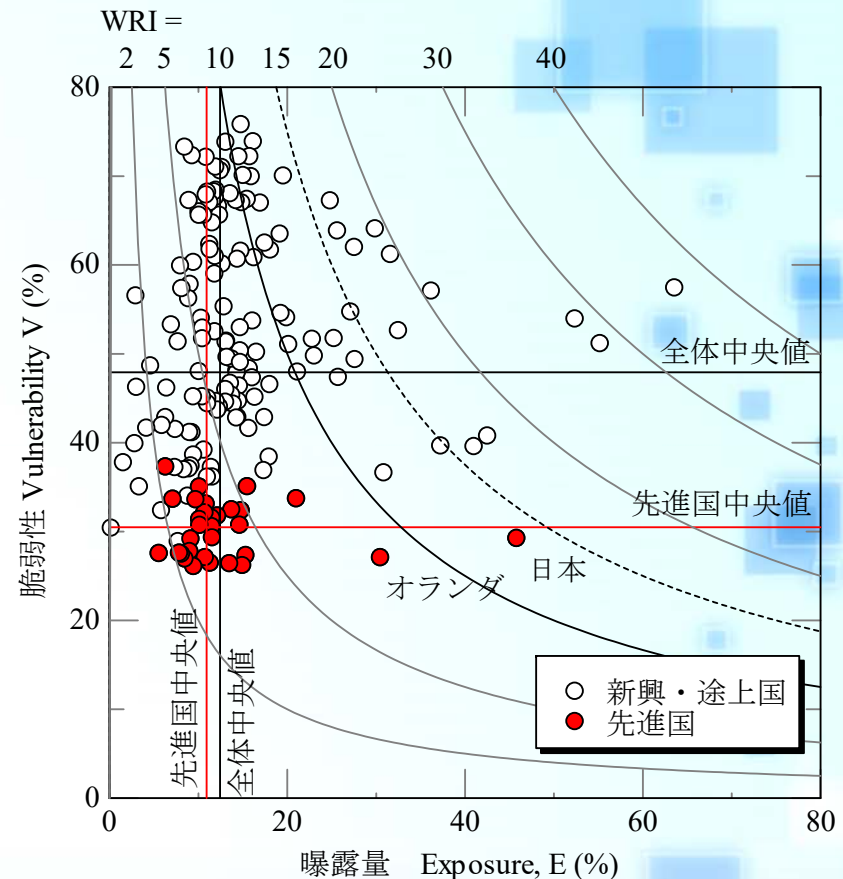
脆弱国土に対応した統一指標の必要性

World Risk Indexの副指標を用いた世界各国の比較

(1) 地域での比較

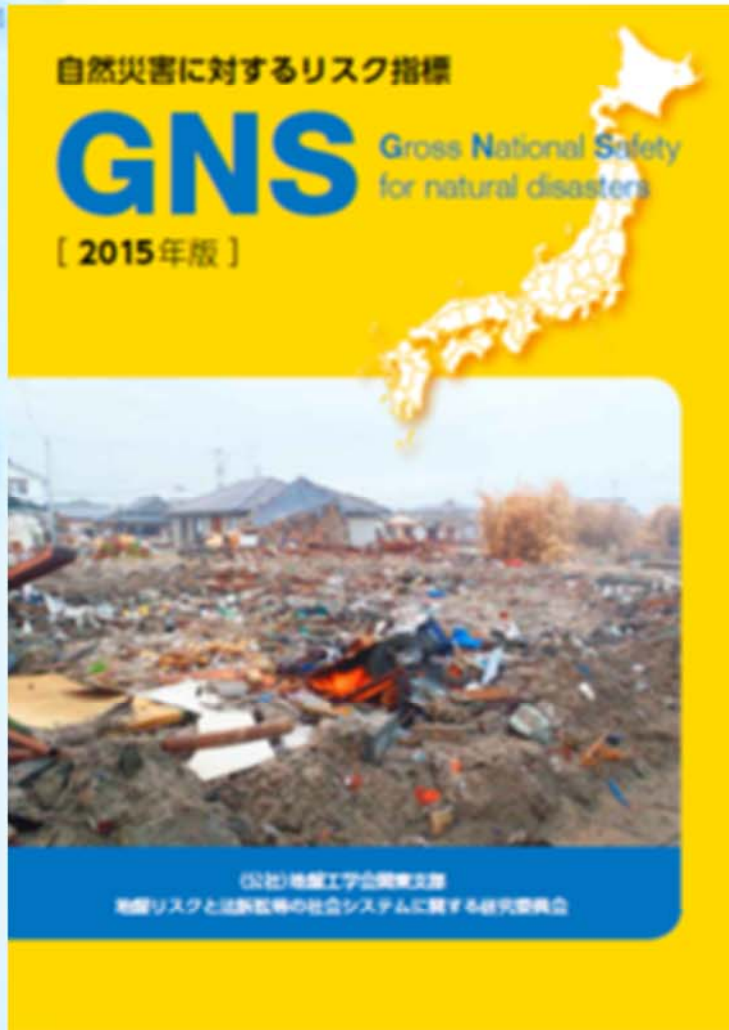


(2) 経済で見た比較

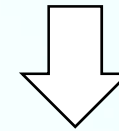


脆弱国土に対応した統一指標の必要性

自然災害に対するリスク指標GNS[2015年版]



科学研究費補助金(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)の成果として
パンフレットの製作



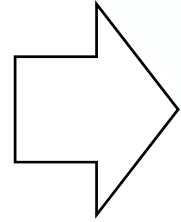
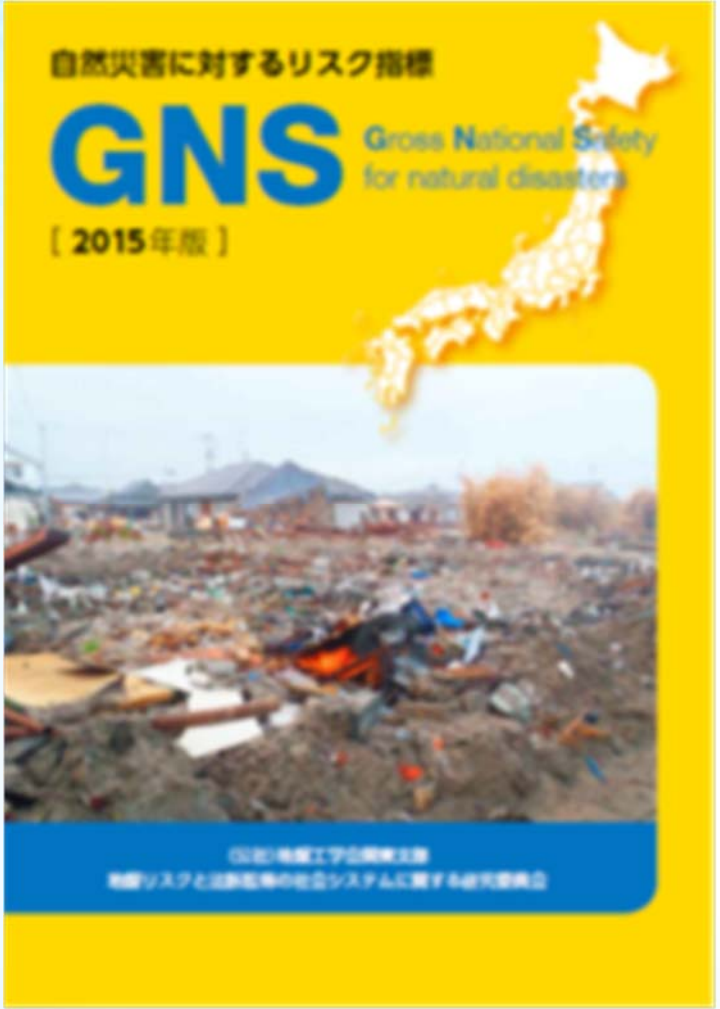
地盤工学会関東支部「地盤リスクと法
訴訟等の社会システムに関する研究
委員会」ホームページに掲載

<http://www.jiban.or.jp/kantou/group/jibanrisk.html>

<http://www.jiban.or.jp/kantou/group/pdf/GNG2015.pdf>

脆弱国土に対応した統一指標の必要性

GNS【2015年版】→GNS【2017年版】



算出方法は同じまま(脆弱性データの更新のみ)

脆弱国土に対応した統一指標の必要性

GNS リスク計算式

リスク計算式

$$Risk = \sum (\overset{\text{危険事象}}{\text{Hazard}} \times \overset{\text{曝露}}{\text{Exposure}}) \times \sum \overset{\text{脆弱性}}{\text{Vulnerability}}$$

暴露量指数

災害発生頻度

災害の影響下にある人口割合

社会・経済の災害に対する弱さ

(1) 地震 (2) 津波 (3) 高潮 (4) 土砂災害
(5) 火山噴火

(1)ハードウェア対策
(2)ソフトウェア対策

階層化重み付け線形和
まとめ上げて指標化



脆弱国土に対応した統一指標の必要性

各指標のソースデータについて

脆弱性指数に関するソースデータ

		分類指標	副指標(データ)
脆弱性	ハード	住宅・公共施設	耐震化率(戸建て・公共) / 木造割合 / 腐朽・破損
		ライフライン	上水道耐震化率(管路・浄水施設・配水池) / 40年超過管率
		インフラ	道路指数 / 橋梁修繕率
		情報・通信	防災無線施設整備率 / Jアラート整備率
	ソフト	物資・備蓄	食料備蓄(5項目) / 飲料水備蓄 / 毛布備蓄 / スーパー指数 / コンビニ指数
		医療サービス	10万人当たり医師数 / 10万人当たり病床数
		経済と人口構成	財政力指数 / ジニ係数 / 高齢者人口指数 / 被保護実人員割合
		保険	地震保険加入率
		条例・自治	土砂災害警戒区域指定率 / ハザードマップ公開率 / 自主防災組織カバー率

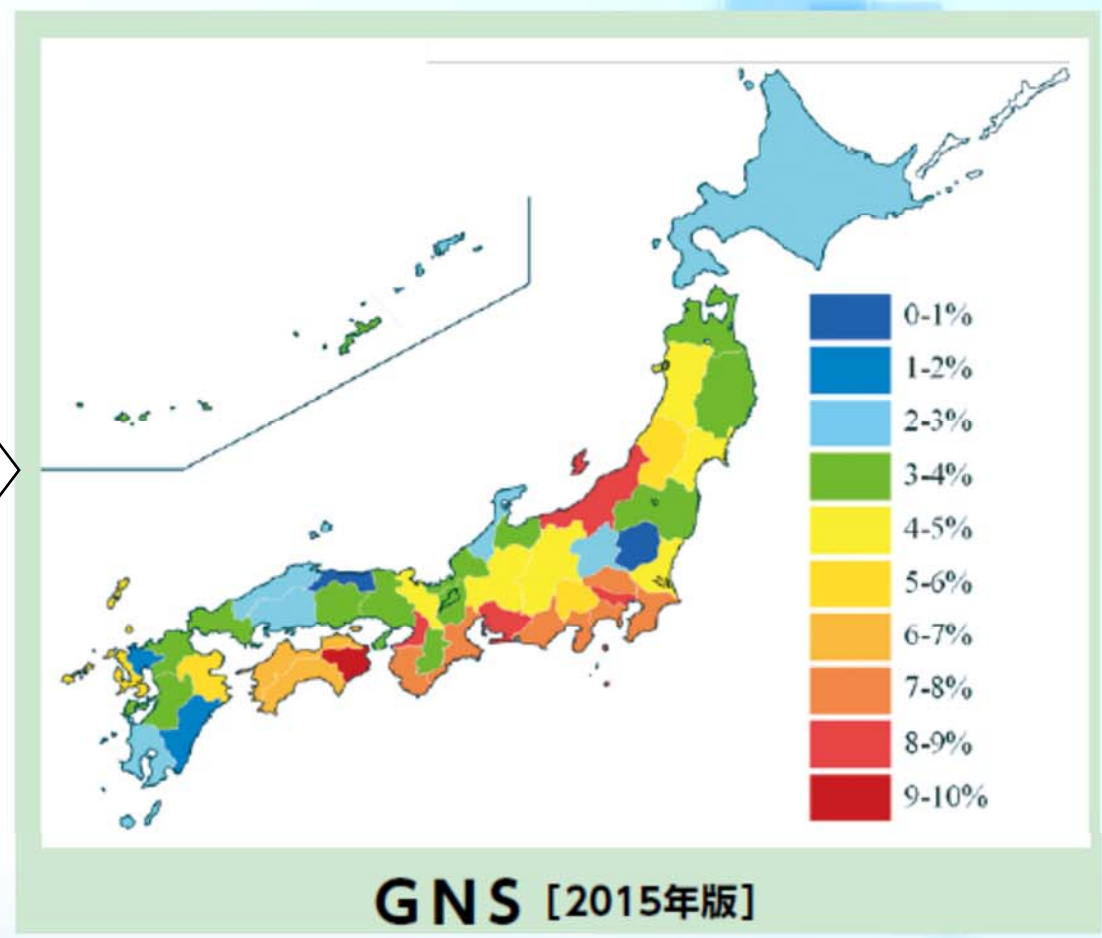
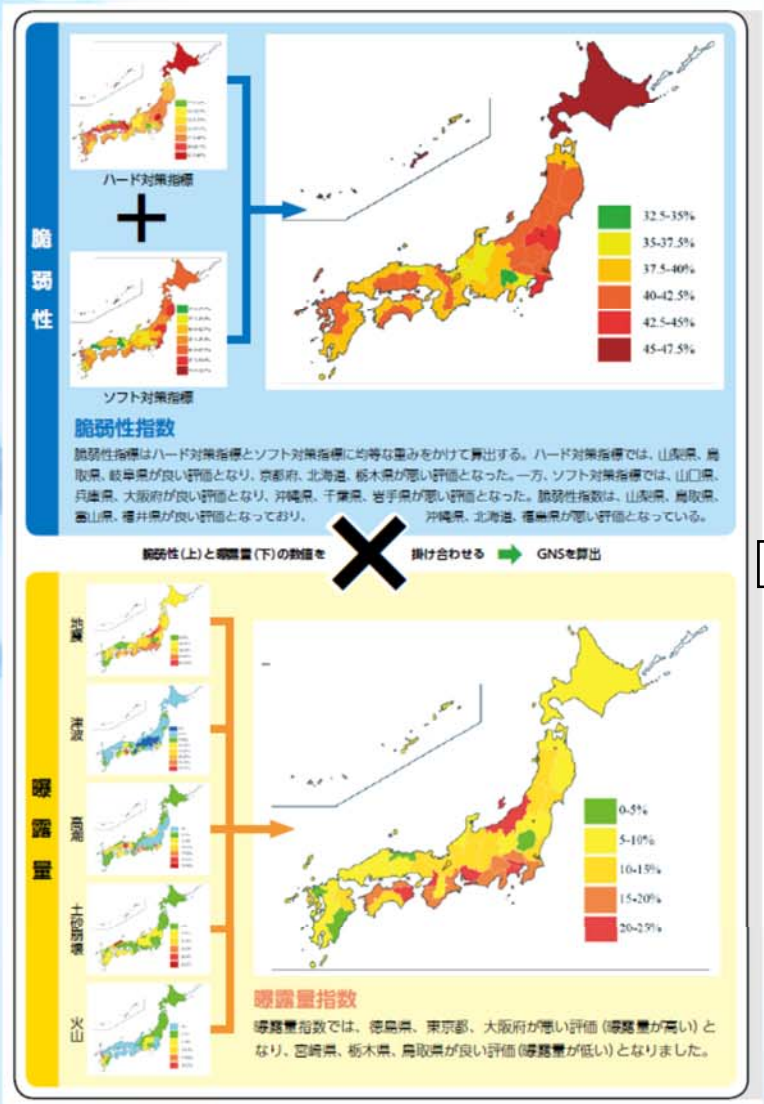
フリーアクセス可能で定期的に更新される統計データを使用

曝露量指数に関するソースデータ

指数	指標
曝露量	地震(海溝型地震・直下型地震), 津波, 高潮, 土砂災害, 火山

脆弱国土に対応した統一指標の必要性

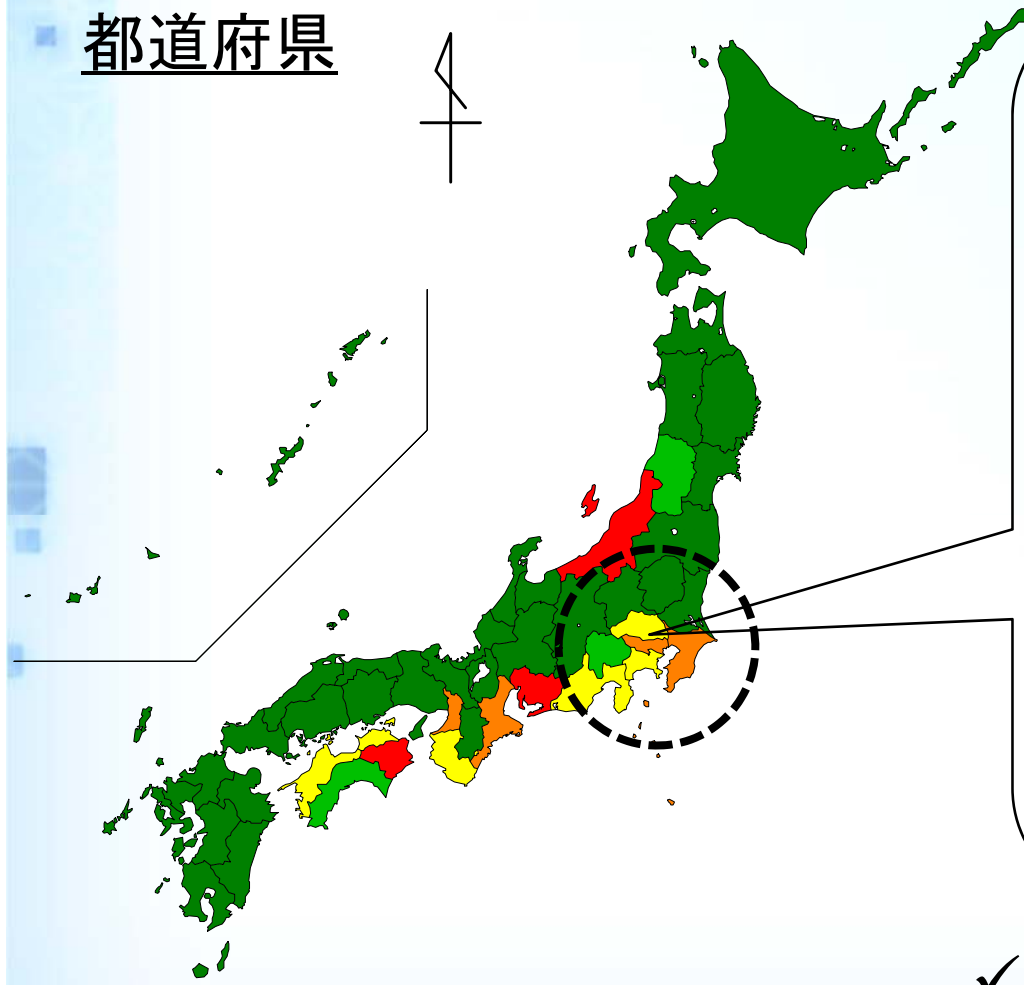
GNS[2015年版] 算出結果



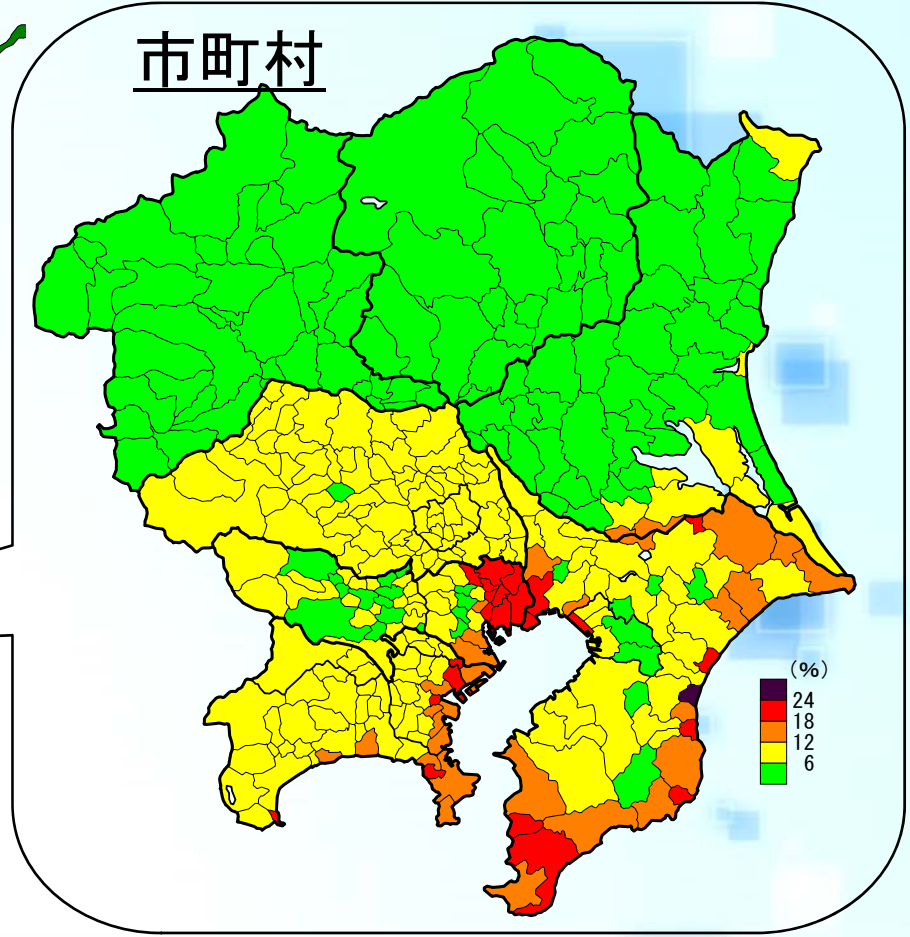
脆弱国土に対応した統一指標の必要性

マルチスケールでのリスク評価

都道府県



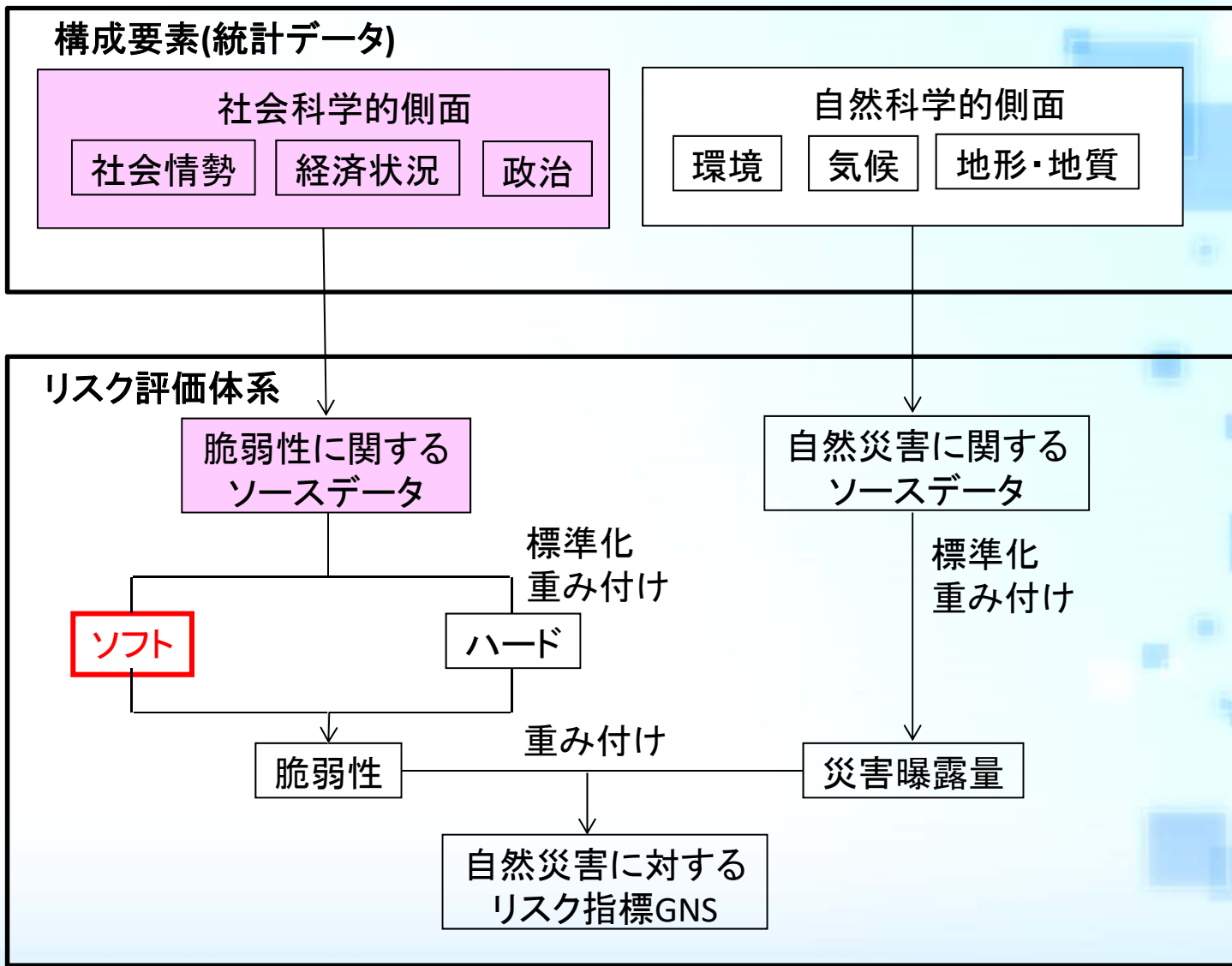
市町村



- ✓ 局所的なリスクの所在を特定
- ✓ 利用可能なデータの制約

脆弱国土に対応した統一指標の必要性

GNSリスクの計算フロー



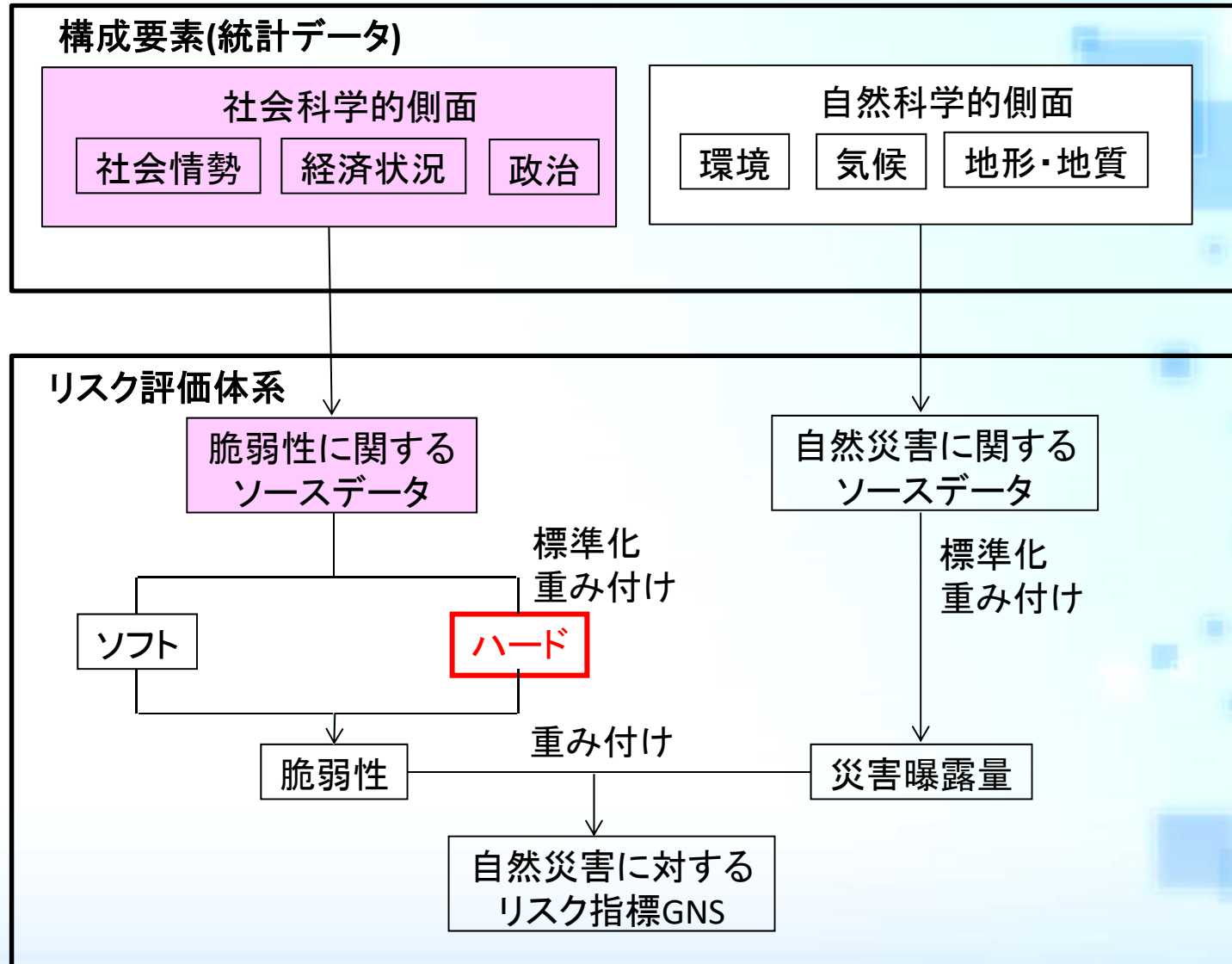
脆弱国土に対応した統一指標の必要性

ソフト対策の各指標

市町村 データ	統計データ		副指標	分類指標	
		単位		重み係数 w_i	重み係数 w_i
×	乾パン備蓄率	[食]			
×	インスタント麺備蓄率	[個]			
×	米備蓄率	[kg]	食料備蓄	0.20	
×	主食缶備蓄率	[缶]			
×	副食缶備蓄率	[缶]	物資・備蓄		物資・備蓄 0.225
×	飲料水備蓄率	[L]	飲料水	0.20	
×	毛布備蓄率	[枚]	毛布備蓄	0.20	
○	スーパー店舗数	[店]	スーパー指数	0.20	
○	コンビニ店舗数	[店]	コンビニ指数	0.20	
○	医師数	[人]	107	0.50	医療サービス 0.225
○	病床数	[人]	107	0.50	医療サービス 0.225
○	財政力指数	—	財政力指数	0.25	
×	ジニ係数	—	ジニ係数	0.25	経済と人口構成 0.225
○	老年人口指数	[%]	老年人口指数	0.25	経済と人口構成 0.225
×	被保護実人員	[%]	被保護実人員	0.25	
×	地震保険加入率	[%]	地震保険加入率	1.00	保険 0.100
○	土砂災害危険箇所	[数]	土砂災害危険箇所		
×	土砂災害警戒区域	[数]	土砂災害警戒区域指定率	0.33	
○	津波ハザードマップ公開数	[数]			
○	洪水ハザードマップ公開数	[数]	ハザードマップ公開数	0.33	条例・自治 0.225
○	土砂災害ハザードマップ公開	[数]			
×	自主防災組織カバー世帯数	[%]	全世帯に対する自主防災組織カバー	0.33	

脆弱国土に対応した統一指標の必要性

GNSリスクの計算フロー



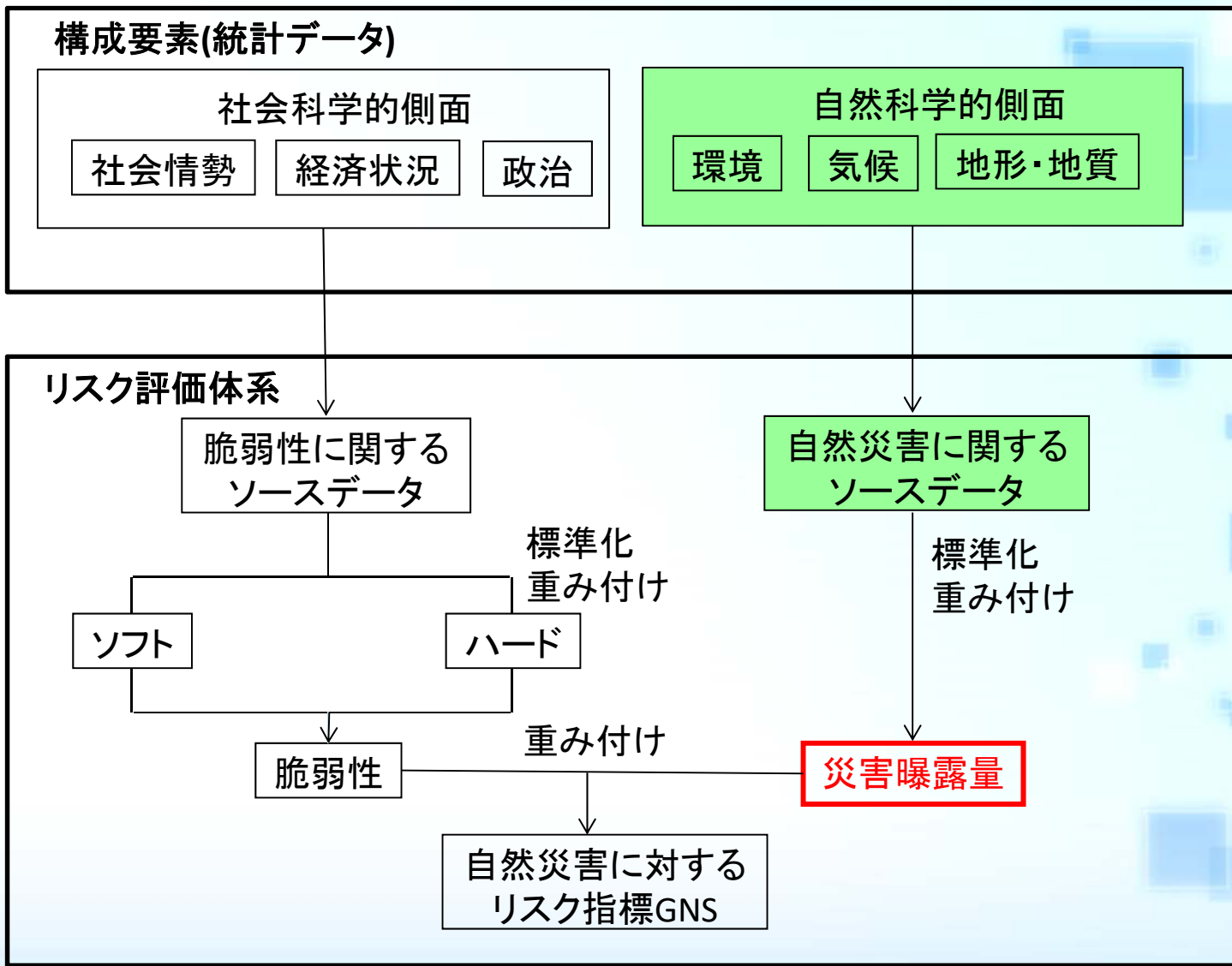
脆弱国土に対応した統一指標の必要性

ハード対策の各指標

市町村 データ	統計データ	副指標	分類指標
	単位	重み係数 wi	重み係数wi
○	戸建て耐震化率	[%]	住宅・公共施設
×	公共施設耐震化率	[%]	
○	木造建築数	[棟]	
○	建物の腐朽・破損数	[%]	
○	基幹管路耐震化率	[%]	ライフライン
○	浄水施設耐震化率	[%]	
○	配水池耐震化率	[%]	
○	40年超過管率	[%]	
○	道路実延長	[km]	インフラストラクチャー
○	橋梁修繕率	[%]	
○	同報系防災行政無線 通信設備整備率	[%]	情報・通信
○	移動系防災行政無線 通信設備整備率	[%]	
○	Jアラート受信機整備率	[%]	
○	自動起動Jアラート受信機整備率	[%]	

脆弱国土に対応した統一指標の必要性

GNSリスクの計算フロー



脆弱国土に対応した統一指標の必要性

曝露量指数の各指標

市町村 データ	統計データ	単位	副指標	重み係数	分類指標	重み係数
				w_i		w_i
×	J-SHIS MAP 被災人口地図	—	海溝型 地震	0.50	地震	0.20
×	活断層延長	[km]	地震	0.50		
○	津波発生回数	[回]	津波	1.00	津波	0.20
○	標高3m未満人口割合	[%]				
○	高潮発生回数	[回]	高潮	1.00	高潮	0.20
○	標高3m未満人口割合	[%]				
×	土砂災害発生件数	[回]	土砂災害	1.00	土砂災害	0.20
×	土砂災害危険箇所の 人口割合	[%]				
×	噴火回数	[回]	火山	1.00	火山	0.20
×	火山地人口割合	[%]				

脆弱国土に対応した統一指標の必要性

災害曝露量

- ①地震(海溝型地震+直下型地震)
- ②津波
- ③高潮
- ④土砂災害
- ⑤火山

過去の災害発生件数が
データとして存在
GNS算出に用いるため
確率の値に変換する
必要あり

$W_i=0.20$

5種類の指標が全て均等に
なる重み係数

災害発生件数0~1の値をとる頻度係数 F_i を計算

$$F_i = 1 - \exp\left(-\frac{N_i}{\bar{N}}\right)$$

N_i :それぞれの都道府県の災害発生件数
 \bar{N} :47都道府県の災害発生件数の平均値

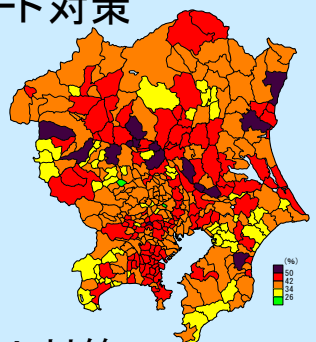
頻度係数 × 人口 = 曝露量

脆弱国土に対応した統一指標の必要性

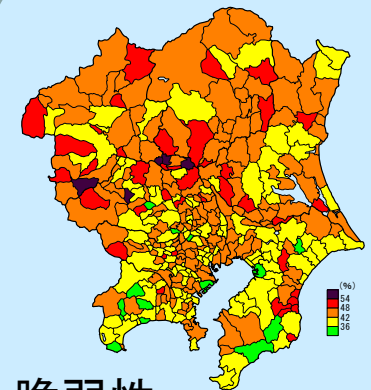
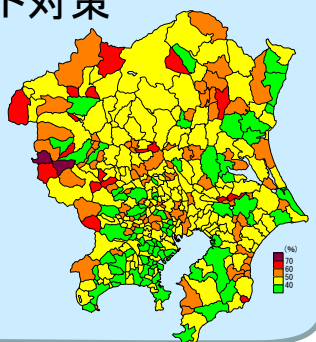
マルチスケールでのリスク評価

関東地方の市町村版GNS

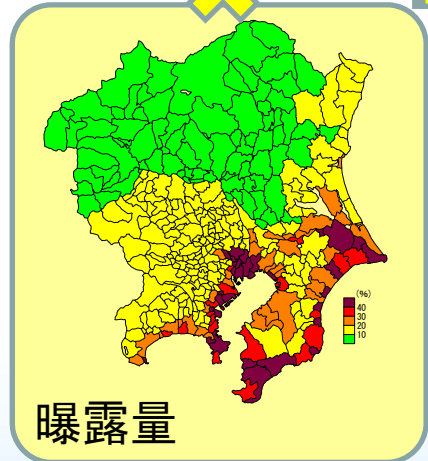
ハード対策



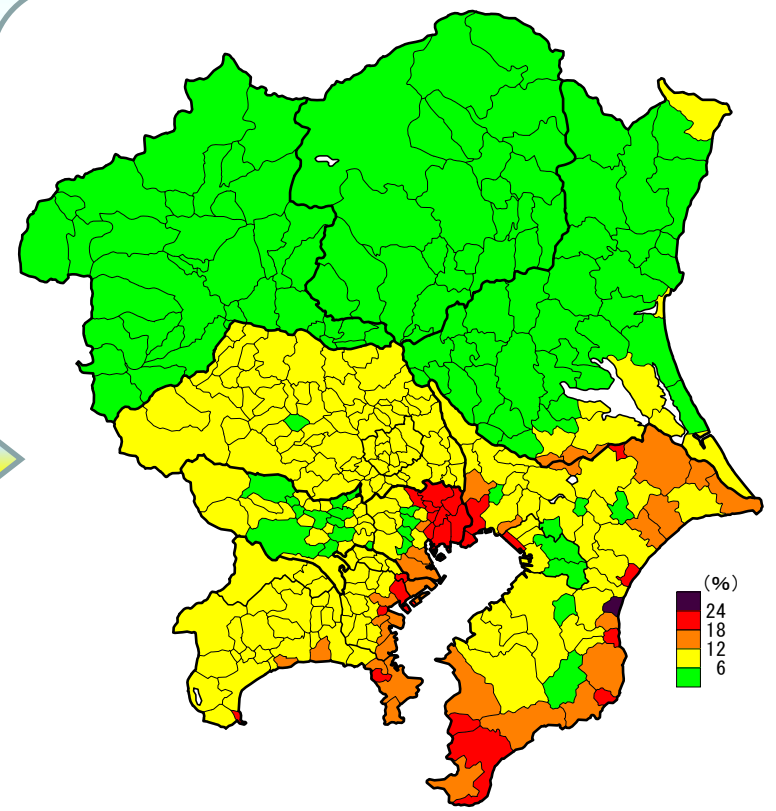
ソフト対策



脆弱性



曝露量



関東地方の市町村版

[曝露量]

市町村:

津波・高潮

都道府県:

地震, 土砂災害, 火山

脆弱国土に対応した統一指標の必要性

土砂災害の災害曝露量を市町村に変更(伊藤ら2018)

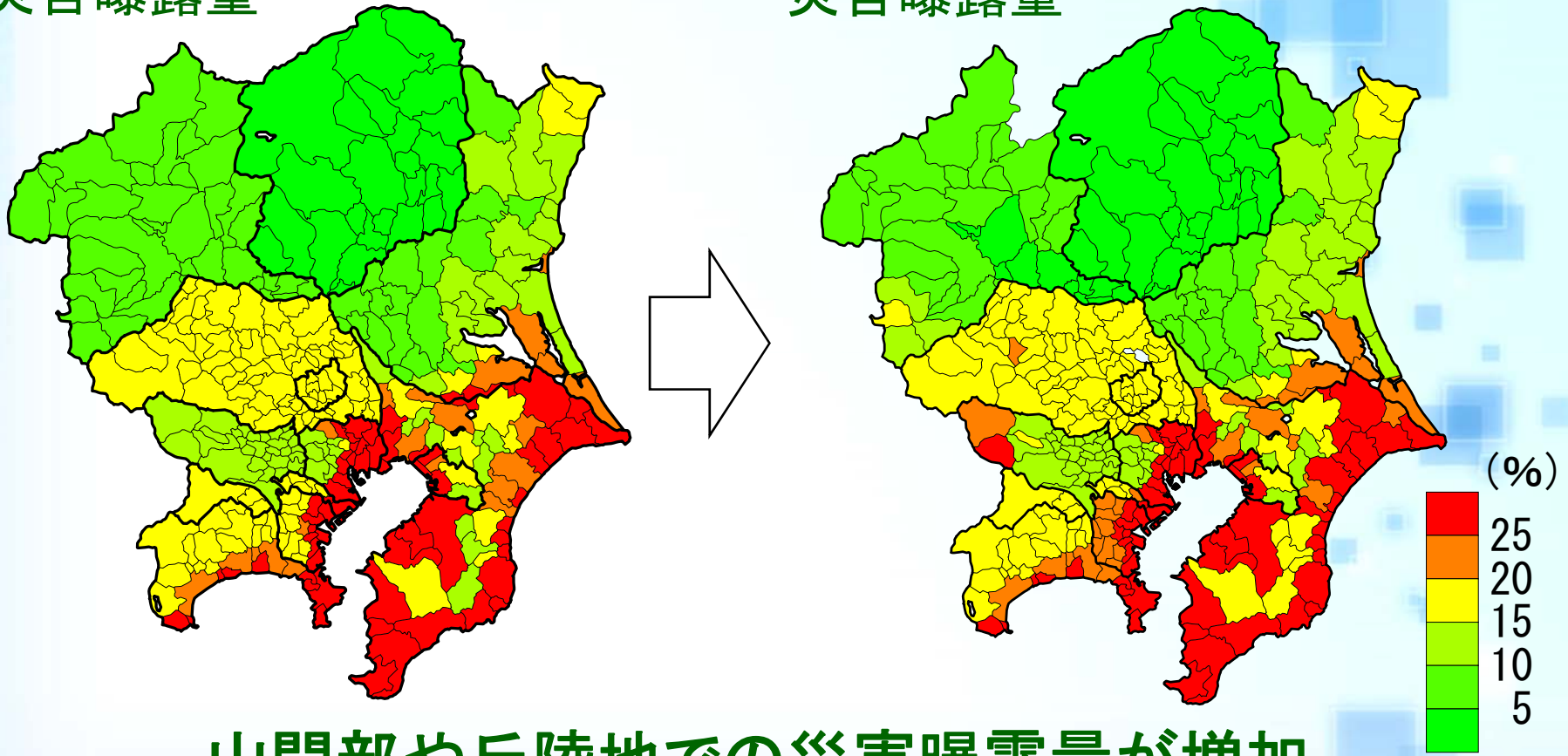
市町村 データ	統計データ	単位	副指標	重み係数	分類指標	重み係数
				w_i		w_i
×	J-SHIS MAP 被災人口地図	—	海溝型 地震	0.50	地震	0.20
×	活断層延長	[km]	地震	0.50		
○	津波発生回数	[回]	津波	1.00	津波	0.20
○	標高3m未満人口割合	[%]				
○	高潮発生回数	[回]	高潮	1.00	高潮	0.20
○	標高3m未満人口割合	[%]				
○	土砂災害発生件数	[回]	土砂災害	1.00	土砂災害	0.20
○	土砂災害危険箇所の 人口割合	[%]				
×	噴火回数	[回]	火山	1.00	火山	0.20
×	火山地人口割合	[%]				

脆弱国土に対応した統一指標の必要性

土砂災害の災害曝露量を市町村に変更(伊藤ら, 2018)

土砂災害を都道府県別とした
災害曝露量

土砂災害を市町村別とした
災害曝露量

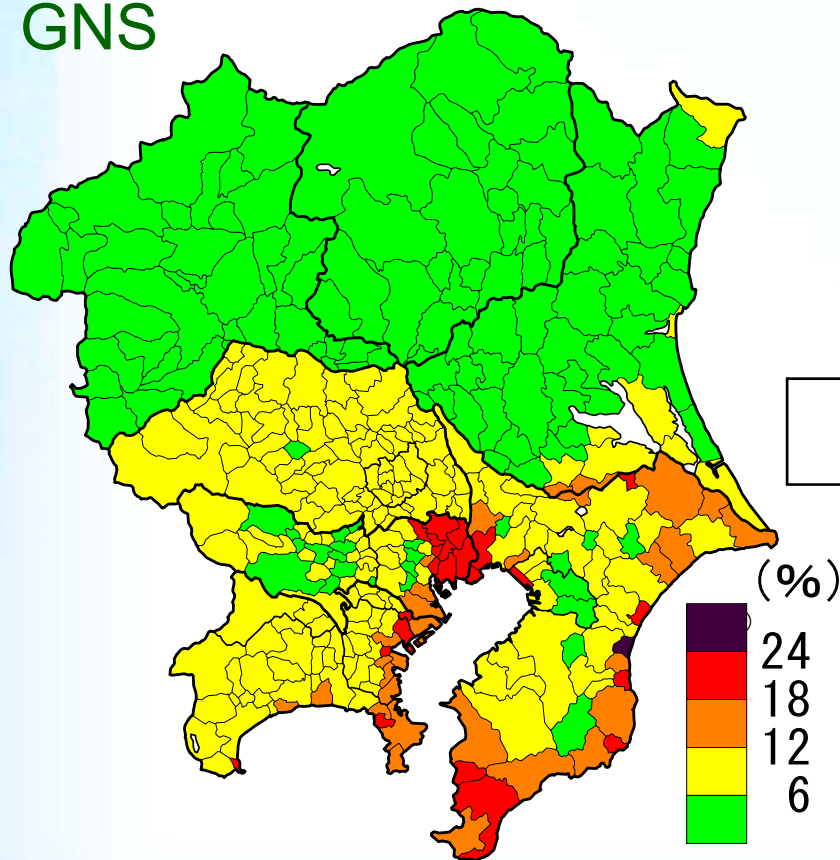


山間部や丘陵地での災害曝露量が増加

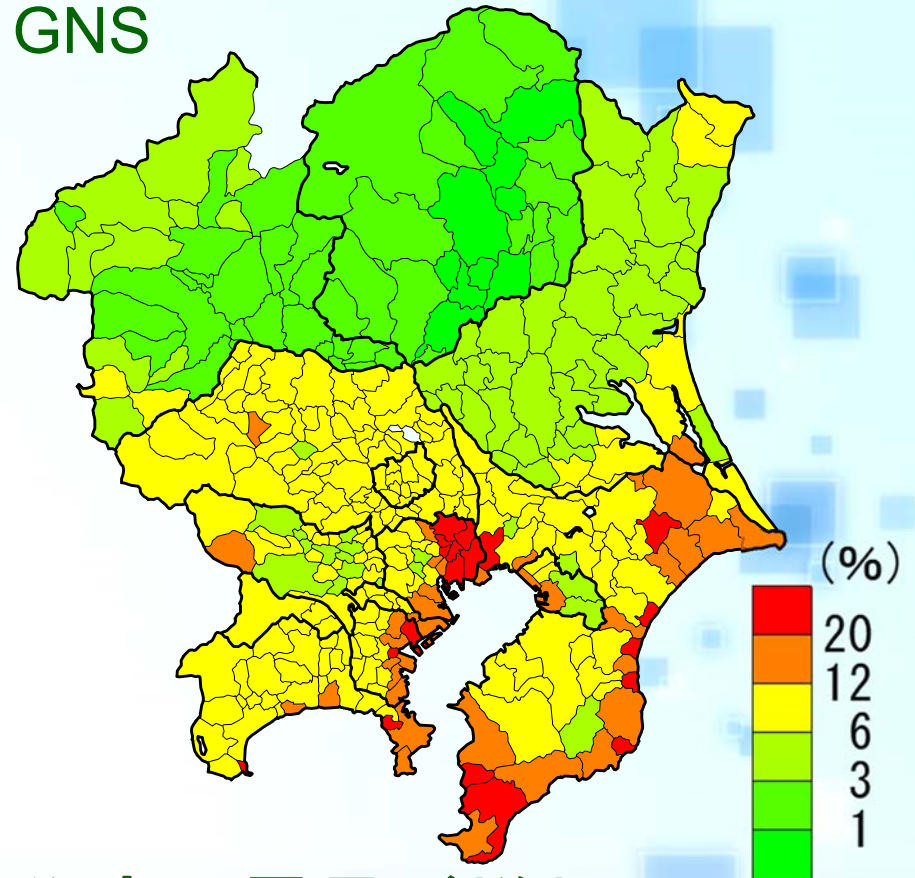
脆弱国土に対応した統一指標の必要性

土砂災害の災害曝露量を市町村に変更(伊藤ら, 2018)

土砂災害を都道府県別とした
GNS



土砂災害を市町村別とした
GNS



山間部や丘陵地での災害曝露量が増加

脆弱国土に対応した統一指標の必要性

曝露量に洪水災害を追加

市町村 データ	統計データ	単位	副指標	重み係数	分類指標	重み係数
				w_i		w_i
×	J-SHIS MAP 被災人口地図	—	海溝型 地震	0.50	地震	1/6
×	活断層延長	[km]	直下型 地震	0.50		
○	津波発生回数	[回]	津波	1.00	津波	1/6
○	標高3m未満人口割合	[%]				
○	高潮発生回数	[回]	高潮	1.00	高潮	1/6
○	標高3m未満人口割合	[%]				
○	土砂災害発生件数	[回]	土砂災害	1.00	土砂災害	1/6
○	土砂災害危険箇所の 人口割合	[%]				
×	噴火回数	[回]	火山	1.00	火山	1/6
×	火山地人口割合	[%]				
○	水害発生回数	[回]	洪水	1.00	洪水	1/6
○	浸水深2m以上人口割合	[%]				

脆弱国土に対応した統一指標の必要性

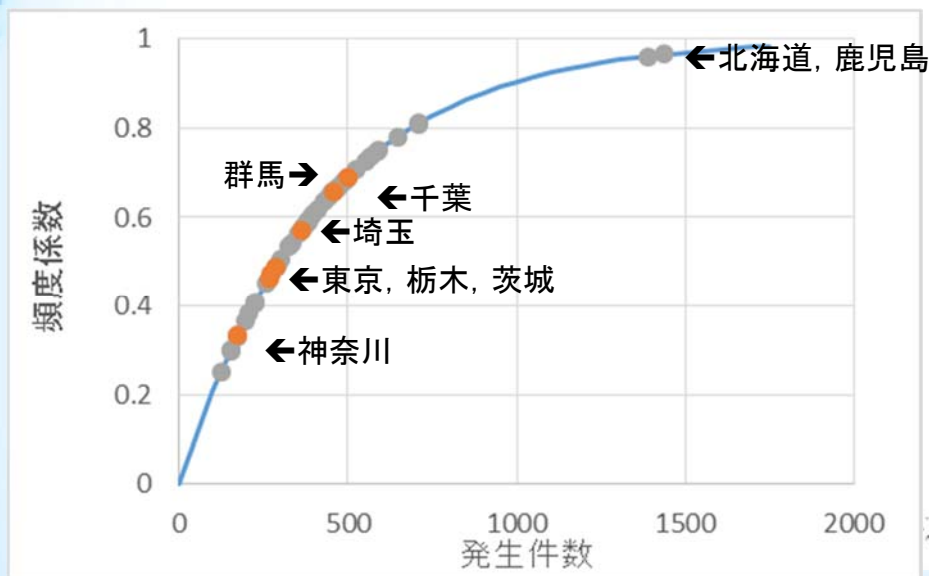
曝露量に洪水災害を追加

✓ 水害発生回数について

国土交通省がとりまとめた
「水害統計調査」から算出

0~1の範囲の頻度係数 F_i を算出

$$F_i = 1 - \exp\left(-\frac{N_i}{N}\right)$$



平成19年～平成28年 水害(河川)の発生状況

- 水害(河川)が10回以上の市町村 : 805市区町村(46.2%)
- 水害(河川)が5~9回の市町村 : 507市区町村(29.1%)
- 水害(河川)が1~4回の市町村 : 373市区町村(21.4%)
- 水害(河川)が0回の市町村 : 56市区町村(3.2%)

(平成28年末 全市区町村数) : 1,741市区町村(100%)

市町村→都道府県



市町村のための
水害対応の手引き

平成30年6月
内閣府(防災担当)

内閣府(防災担当)

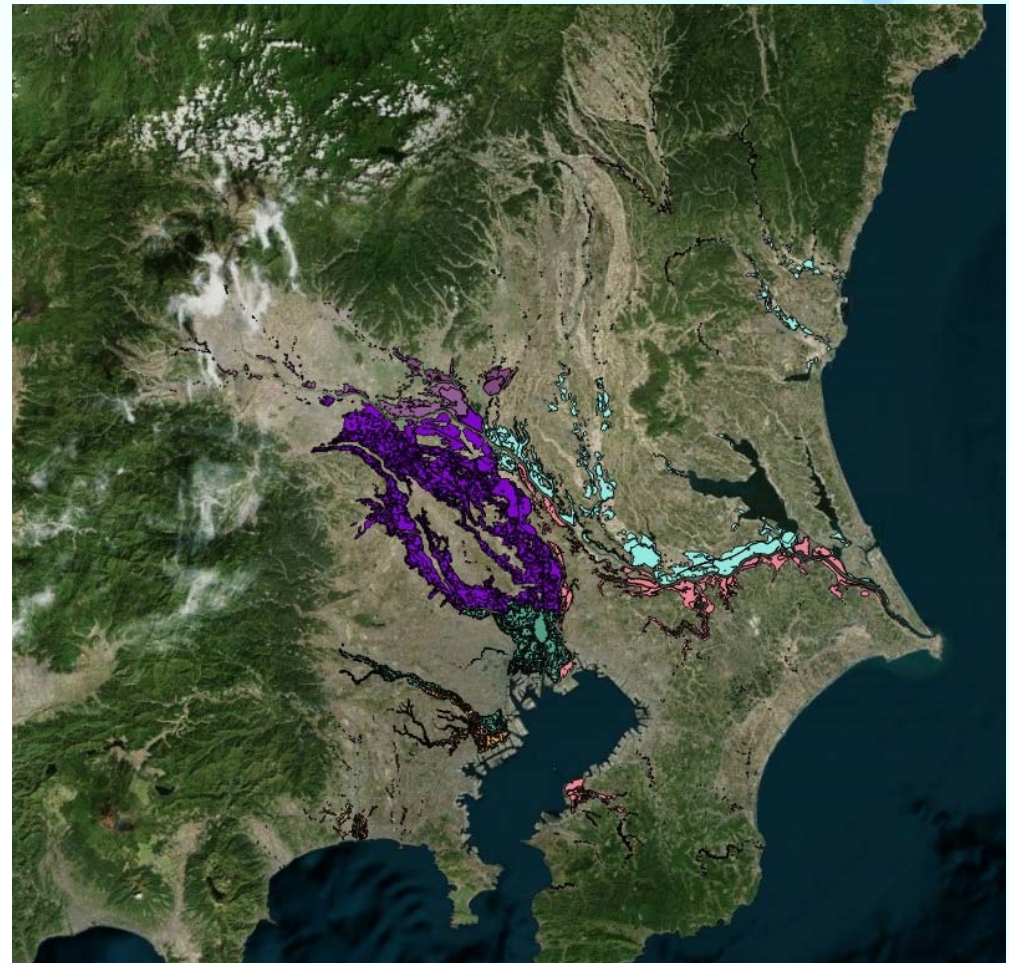
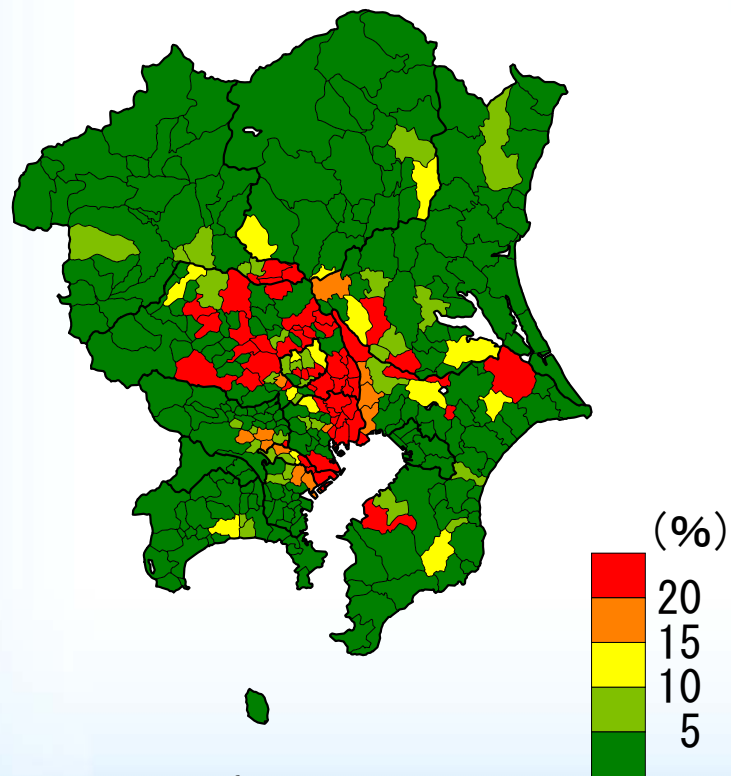
「市町村のための水害対応の手引き」

脆弱国土に対応した統一指標の必要性

曝露量に洪水災害を追加

- ✓ 浸水想定区域データ

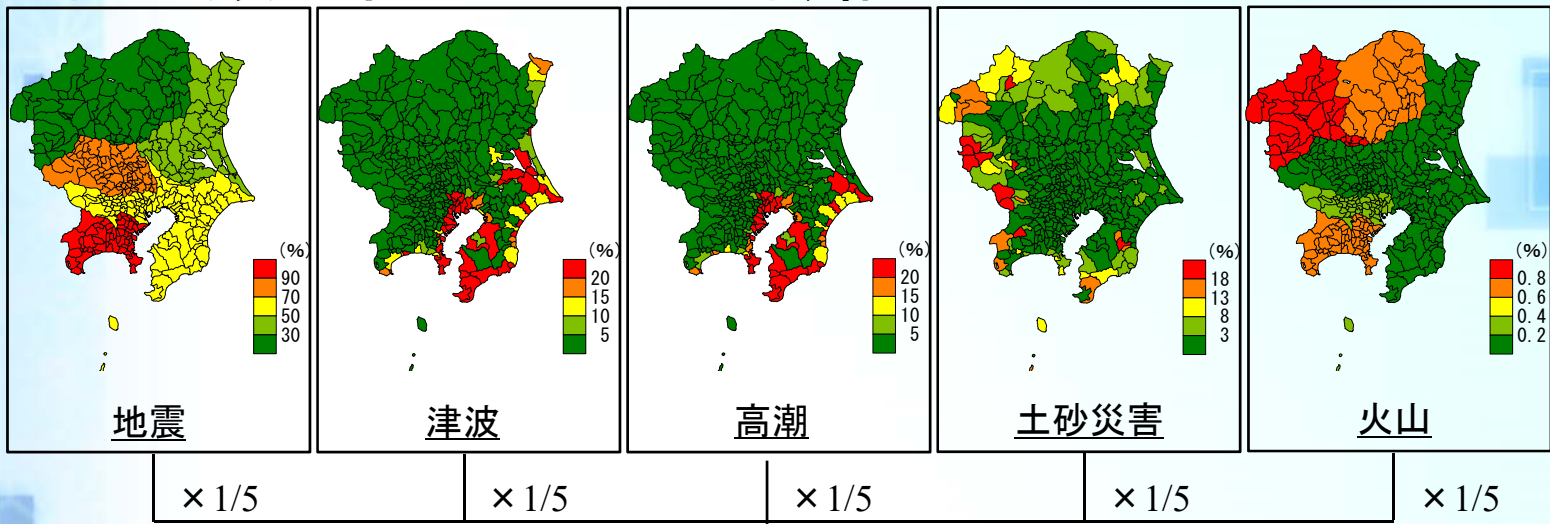
国土数値情報 浸水想定区域データ
データを利用し浸水深2mに居住している人口割合



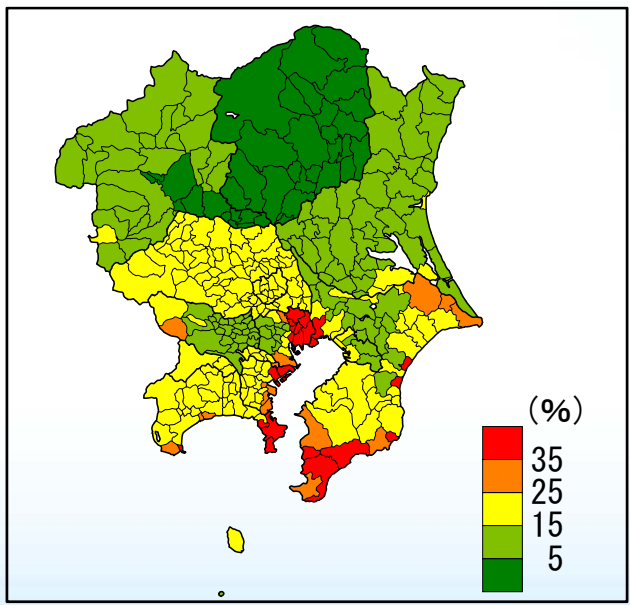
浸水深2mの領域

脆弱国土に対応した統一指標の必要性

各分類指標毎の災害曝露量



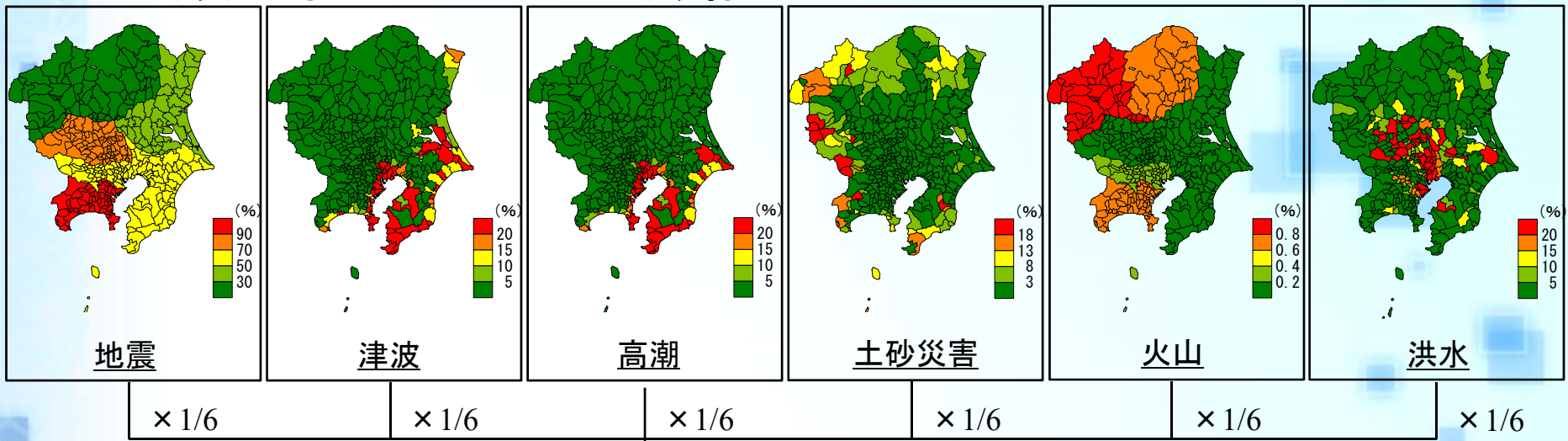
災害曝露量



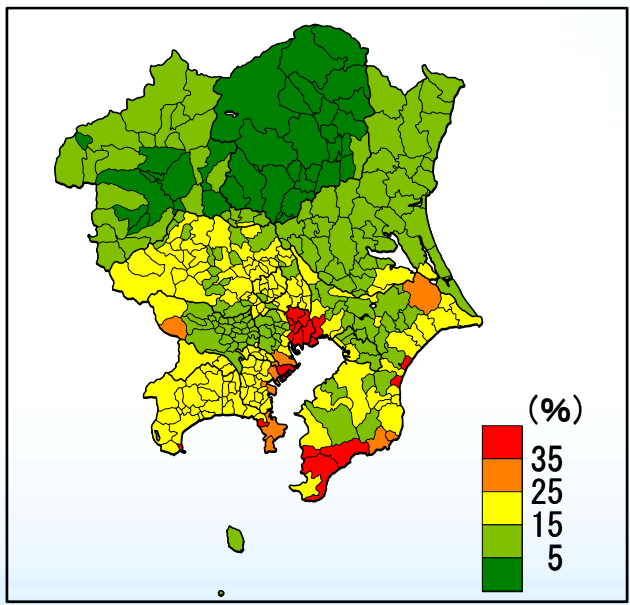
- ✓ 均等に1/5として合算して算出
- ✓ 地震・火山は都道府県別

脆弱国土に対応した統一指標の必要性

各分類指標毎の災害曝露量



災害曝露量



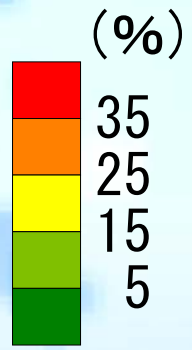
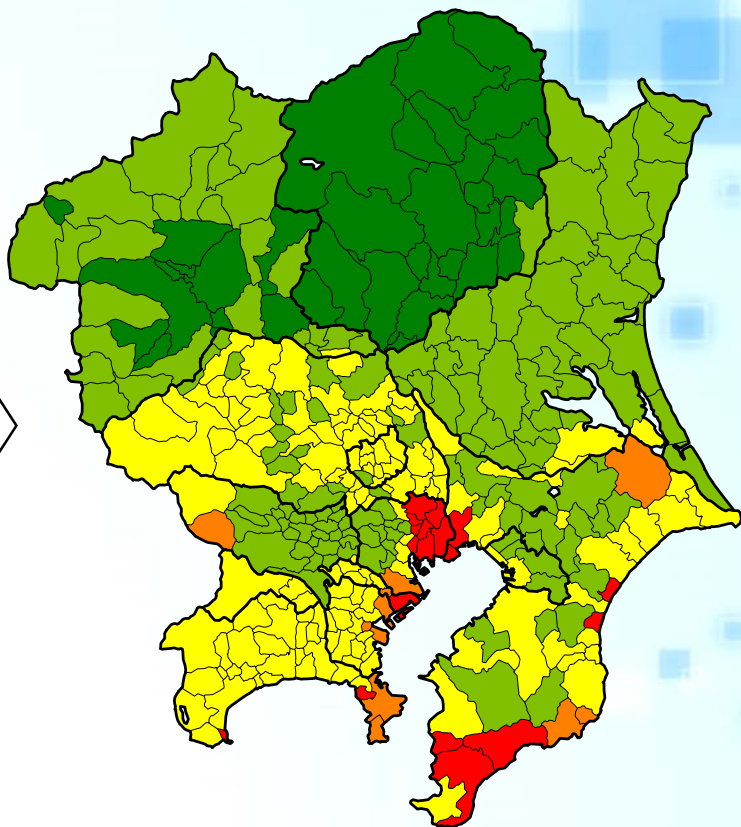
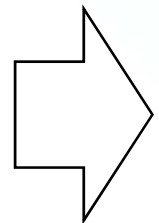
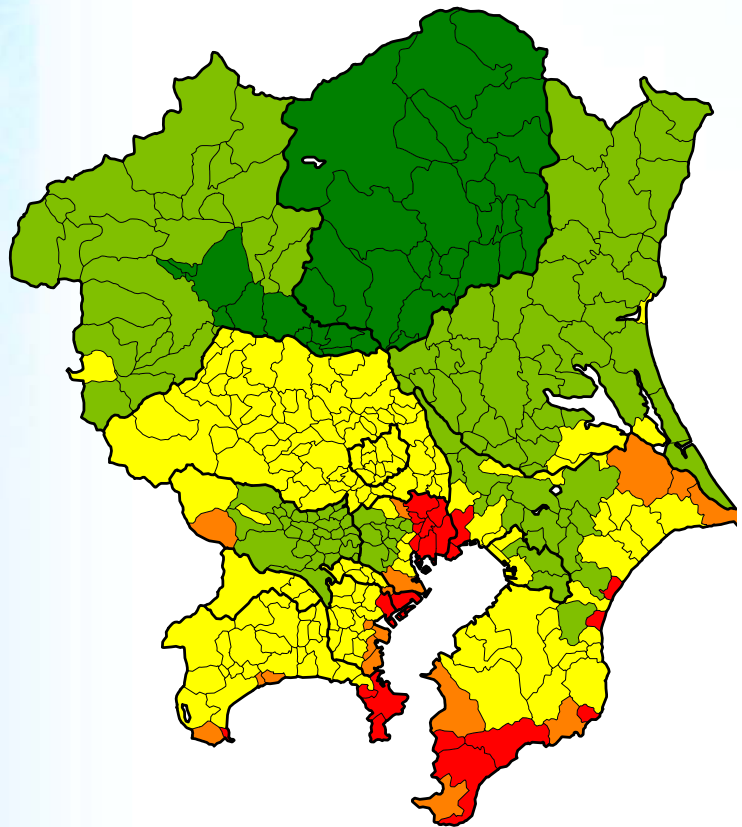
- ✓ 洪水を追加
- ✓ 均等に1/6として合算して算出
- ✓ 地震・火山は都道府県別

脆弱国土に対応した統一指標の必要性

洪水災害の災害曝露量を追加

災害曝露量(洪水災害なし)

災害曝露量(洪水災害追加)



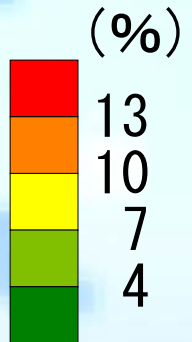
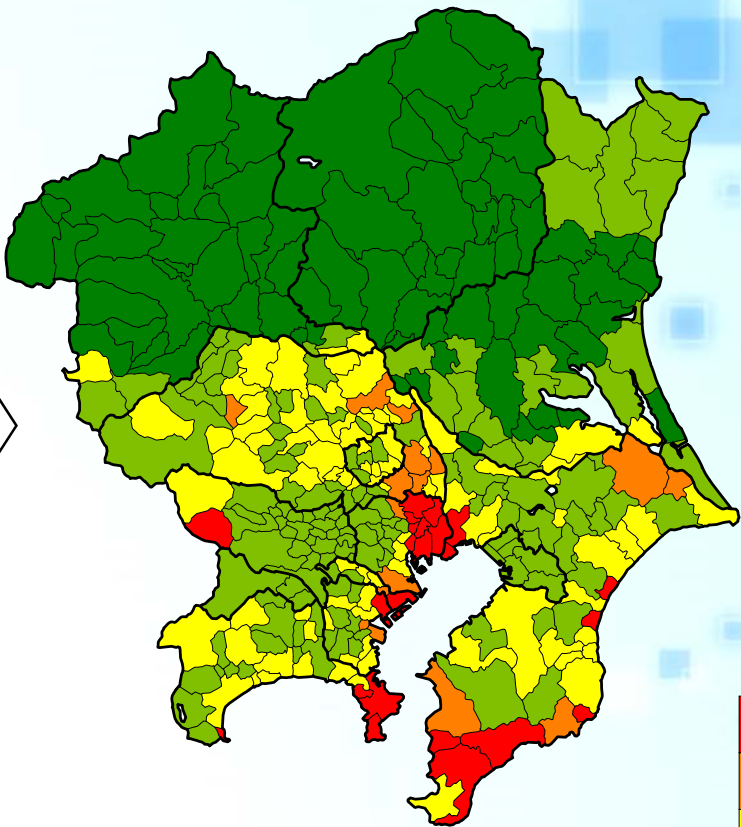
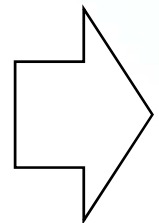
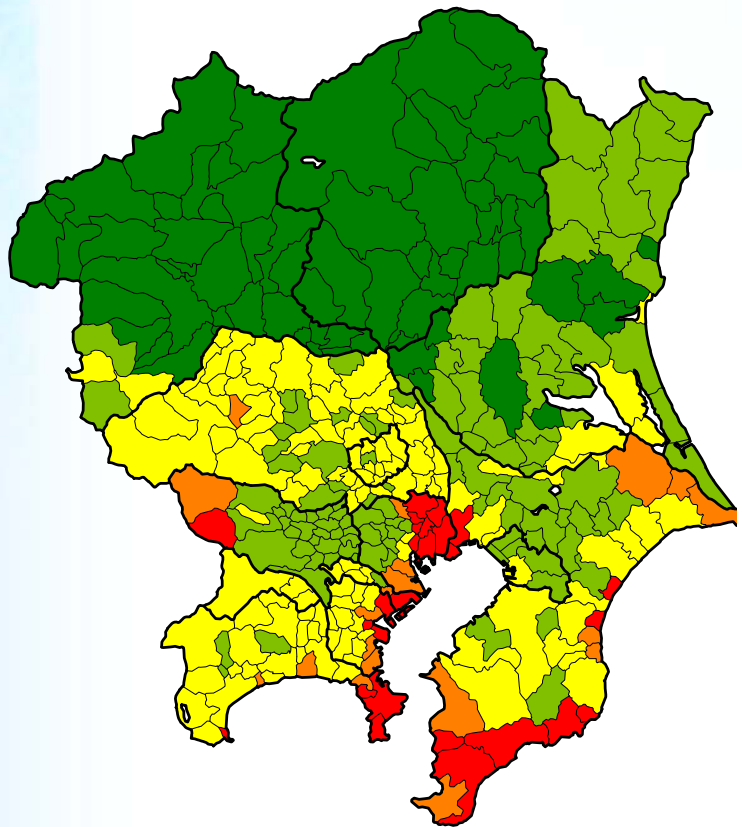
洪水災害を加えたことから重み係数が1/5→1/6に変化したことで、より低地の災害曝露量が増加傾向

脆弱国土に対応した統一指標の必要性

洪水災害の災害曝露量を追加

GNS(洪水災害なし)

GNS(洪水災害追加)



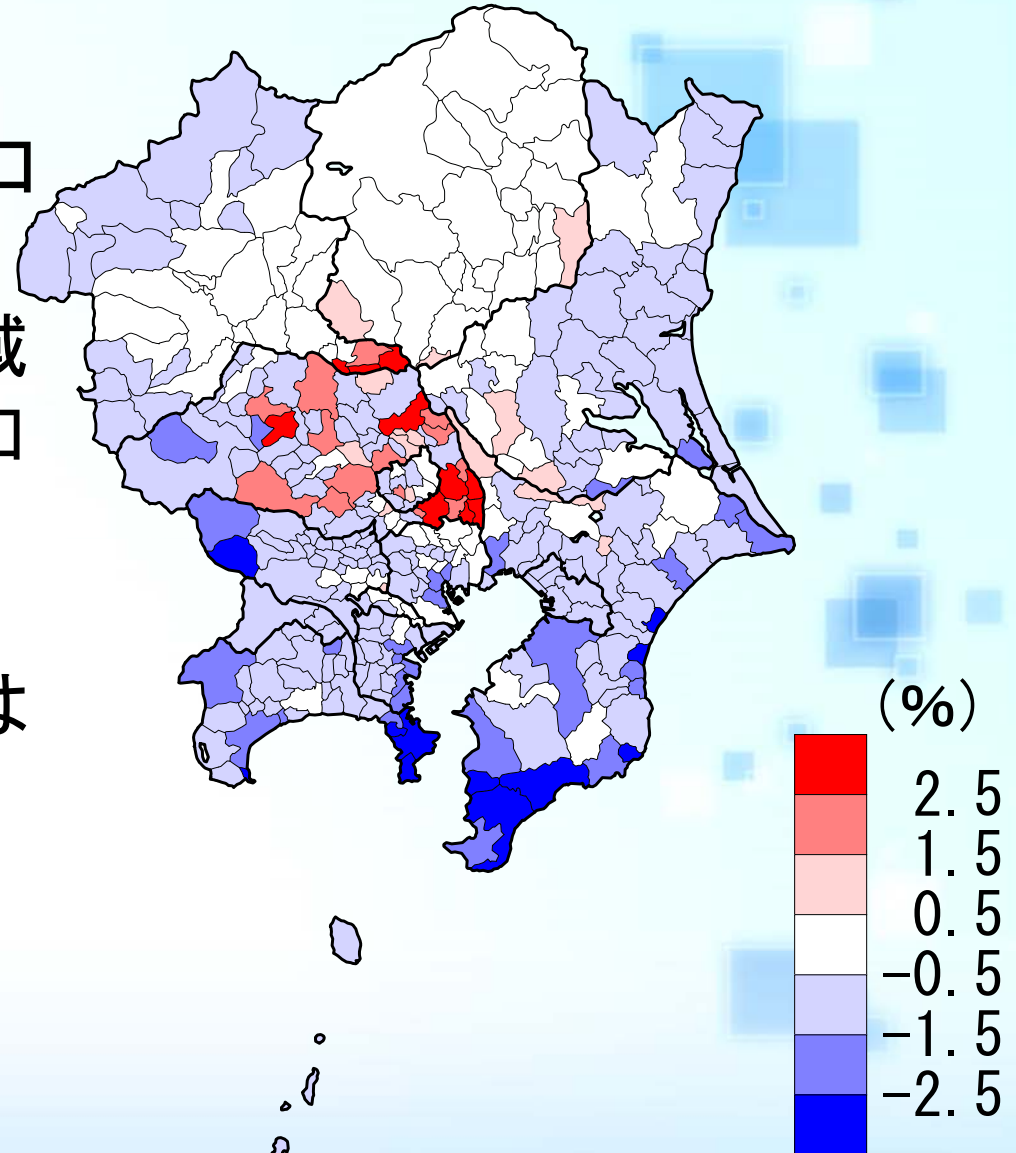
洪水災害で浸水域に人口が多かった荒川水系, 利根川水系, 江戸川流域のGNSのリスク値が増加

脆弱国土に対応した統一指標の必要性

洪水災害の追加によるGNS

GNSの差分

- ✓ 洪水災害で浸水域に人口が多かった荒川水系、利根川水系、江戸川流域のGNSのリスク値が増加
→ 東京都・埼玉県が増加
- ✓ 洪水災害と無縁な地域はGNSのリスク値が低下



脆弱国土に対応した統一指標の必要性

GNSリスクを低減するためには？

リスク計算式

$$Risk = \sum (\overset{\text{危険事象}}{\text{Hazard}} \times \overset{\text{曝露}}{\text{Exposure}}) \times \sum \overset{\text{脆弱性}}{\text{Vulnerability}}$$

暴露量指数

災害発生頻度

災害の影響下にある人口割合

社会・経済の災害に対する弱さ

(1) 地震 (2) 津波 (3) 高潮 (4) 土砂災害
(5) 火山噴火

(1)ハードウェア対策
(2)ソフトウェア対策

曝露量指数を低下させるためには？

災害発生頻度は変えられるか？ → 変えられない

災害の影響下にある人口割合 → 人口割合は変えられる

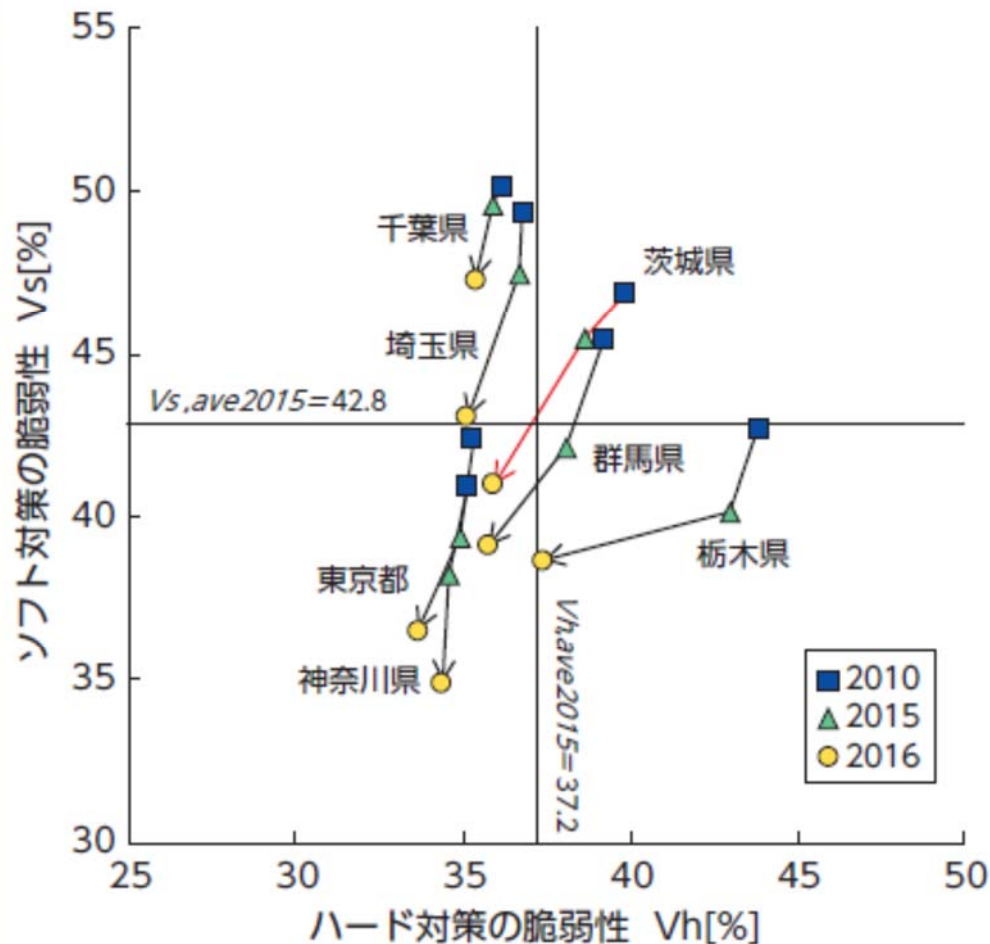
脆弱性指数を低下させるためには？

ハード対策・ソフト対策 → 限られた予算を有効に利用

脆弱国土に対応した統一指標の必要性

GNSリスク指標による改善度合の可視化

脆弱性の経年変化による改善度合の可視化



各自治体が実施した施策によって脆弱性が改善されていることを可視化

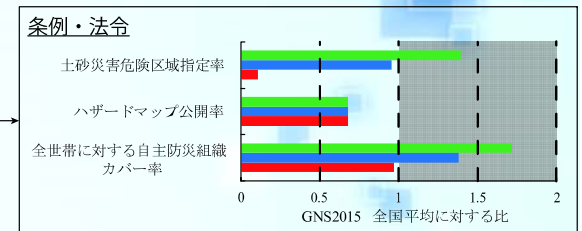
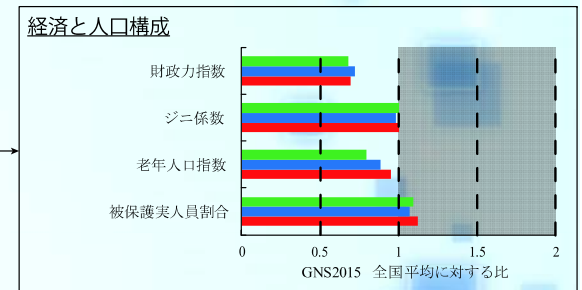
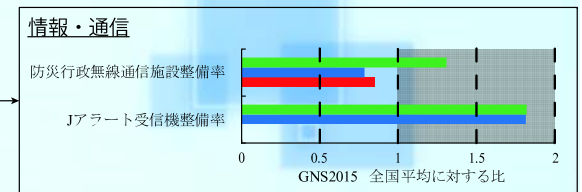
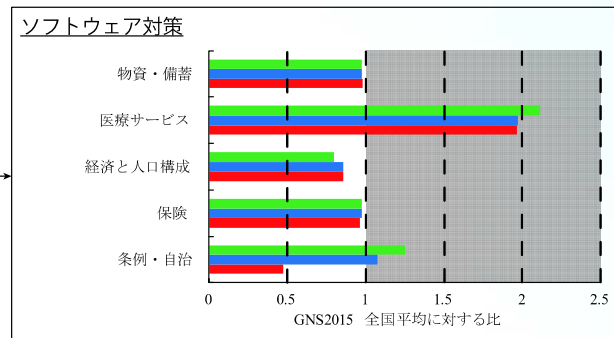
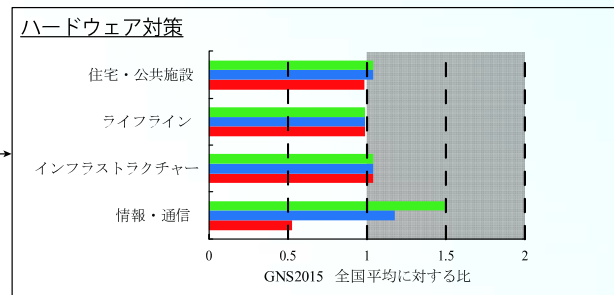
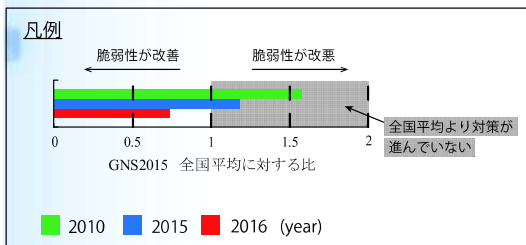
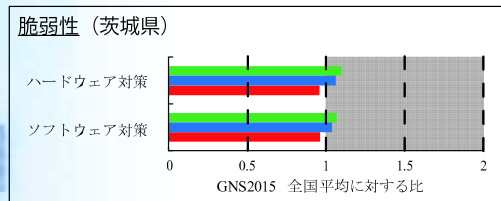
栃木県 → ハード+ソフト
その他 → ソフト対策

経年的な改善状況を可視化することで防災・減災対策に使用する予算が無駄ではないことを示すことができる。

脆弱国土に対応した統一指標の必要性

GNSリスク指標による改善度合の可視化

脆弱性の経年変化による改善度合の可視化



副指標から各構成項目での全国平均値との比較をすることで、対策が進んでいる項目、遅れている項目が可視化できる。

➔ どの施策に重点をおけば脆弱性が改善されるかが分かる

まとめ

我が国の地盤の特徴を述べ、脆弱国土に対応した統一指標の必要性から現在開発を進めている「自然災害に対するリスク指標GNS」について紹介した。

- ✓ 都道府県版に加えて市町村版について紹介した。
- ✓ リスク指標GNSの算出方法について説明した。
- ✓ 今回、新たに洪水災害を災害曝露量に追加したリスク指標GNSを作製した。
- ✓ GNSリスクの低減には、①災害の影響下にある人口割合を低下する(危険な場所には住まない・住ませない)こと、②脆弱性を低下させること、が考えられる。

謝辞

■ 自然災害に関する国土の安全性指標(GNS)の算定は、科学研究費補助金(基盤研究B(一般))「自然災害安全性指標(GNS)構築のための脆弱性評価の確立と防災戦略への反映」(代表者:伊藤和也, 課題番号16H03156)による成果の一部である。

■ 洪水災害を含めた関東圏の市町村版GNSの策定は、東京都市大学 学部4年 福島英征氏(地盤研), 修士2年金井翔哉氏(今井研), 関西大学 修士2年向井友亮氏(小山研)に協力いただきました。末筆ながら謝意を表します。