

Measuring Vulnerability to Natural Hazards: Towards Disaster Resilient Societies

【論文 13】

A Human Security Index

人間保安指標

【筆者】

Erich J. Plate

Emeritus Professor of Hydrology and Water Resources Planning at the
University of Karlsruhe in Germany

【要約】

論文 13: 人間保安指標

本稿では抵抗力 (Resiliency) と脆弱性 (Vulnerability) の違いにおける、人間保安の定義に関して述べる。危機状態にある人々に対し、費用効果が優れた人間保安対策を考えるには数値的根拠に基づくモデルが必要である。人間保安指標の定量化は複雑な問題で、本稿で初めて取り上げられる。概念の中心は危機状態にある人々だが、気象学・地形学的・自然発生的・極端事象、或いは化学生産過程に伴う大事故や汚染、ダムや堤防、化学工場等、工業技術の失敗による事故等に被災する。

人々の危機状態は多くの要因に依存するが、二つのタイプに分類できる。利用できる資源を決定付ける要因である抵抗力、人々に要求する要因の脆弱性である。経済学的では、抵抗力は個人・共同体・国家等が利用できる資源の供給、脆弱性は資源に対する要求になる。負荷は系が外部からうける力、抵抗力は系が負荷に抵抗する内部能力とする。脆弱性は損害発生の可能性に起因する損失程度 (UNDHA) と定義されているが、多くの定義 (第一章) があり、要素も定義されているが定量的でない。環境を規定した中で脆弱性や抵抗力の要素を直感的に定義することは簡単だが、体系的に人間保安を数値化することは難しい。一般的には人間保安は抵抗力が高まるか、脆弱性が弱まれば改善される。

人間保安の定量化にはモデルが必要だが、モデルの結果が一般的過ぎると、地域間の条件比較が難しくなる。モデルの目的は二つあり、第一に災害発生時に資源を最需要地域に配分すること、第二に計画条件を確立することである。前者は発生した極端事象への対処、後者は将来の防衛計画を提供する。付与条件下で問題の最適化は、人間保安の改善策を単に金額でなく経済価値的最低費用で解決することで、本章の目的は定型的概念を提供することである。

抵抗力は R で表し、社会経済あるいは自然環境下で、個人や集団がある期間耐えることが出来る資源の合計で、金額で表すならば \$ 単位でよい。図 1 において上部の水平実線で示す。国家で考えれば R は市民の平均対策資源である。しかし抵抗力は単に経済量だけではなく極端

事象を吸収する環境・社会的能力で、多くの要素が寄与する。

脆弱性は S で表し、 R と同じ次元を有し、特定環境下の人々に対する要求である。脆弱性には二つの要素があり、一つは S_s で、平常生活のための要求＝極端事象発生前からの状態、図 1 では水平破線で示す。 S_s は個々が日々生活を維持する方策で、年齢、収入、社会条件等多くの指標からなる。通常の生活で消費される食費・燃料費・保護の費用を含み、個人毎の数値があり、国家平均として S_s は GNP/人の様な数値になる。

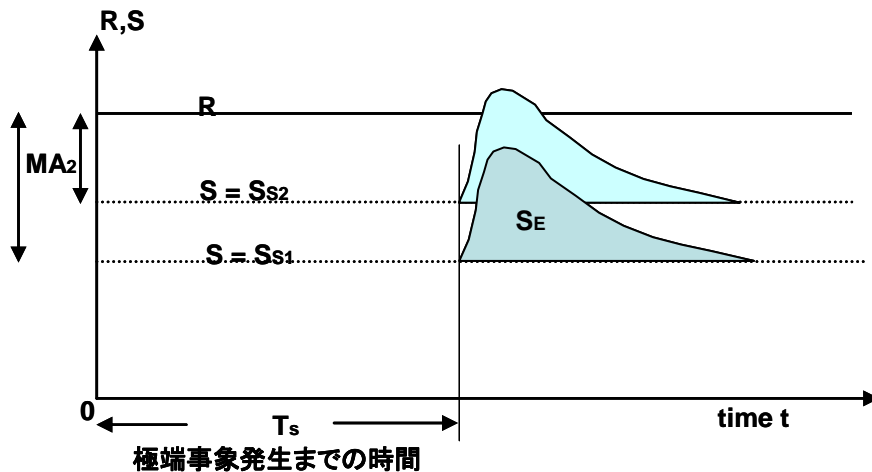


図 1 時間の関数としての抵抗力と脆弱性

二つ目の脆弱性要素は、極端事象発生後の S_E で、脆弱性が通常状態から極端に変化する、危機状態の人々の資源である。図 1 の曲線で囲まれた領域だが、時刻 T_s において突然発生する。図 1 において、同一極端事象・同一抵抗力 R であっても、通常脆弱性 S_s が S_E 発生しても十分 R 以下か・否か、が重要である。例えば、生活費が極端に高ければ $S_E + S_s$ は R を超える。即ち図 1 において S_{s1} から S_{s2} になった状態である。

災害という述語は狭い意味で、危機状態の人々が外部からの援助無しに極端事象から復旧できない状態とする (UNDRO)。災害は $MA = R - S_s > S_E$ ならば避けられる。即ち危機状態人口、結果の合計量に関係しない。もし S_E が家族の MA より大きければ家族はその分苦しみ、外部援助に頼り、 MA は極端事象に遭遇したときの受容力であり、 MA を人間保安猶予と呼び個人や危機人民に対する保安条件である。

個人が家と財産 W を有し、 S_E が必要で、 $v \cdot W$ の保険、資金余裕は K とする。

$$\text{通常利用可能資金} \quad R = [(v \cdot W - S_E) + K] \quad (1)$$

通常脆弱性 S_s は年収の一部(日々の生活経費の一部)で、人間保安の余地は

$$MA = R - S_s = [v \cdot W - S_E + K - S_s] \quad (2)$$

洪水が発生し家の一部 $r \cdot W$ が破損し、追加修繕が必要となり、その費用 D とする

$$S_E = [r \cdot W + D] \quad (3)$$

もし世帯費用が収入から生活費を差し引いた分を超えれば外部援助を必要とする

$$IV = S_E / MA \quad (4)$$

IV が 1 より大きければ世帯は破綻し、1 より小さければ自力再生が可能である。生活費が低い

地域に住む人は高いところに住む人に比較して明らかに人間保安の余裕がある。

極端事象が発生した場合の影響は危機状態にある人々に対する資源の分布状態に依存するが、年収の人口比率分布 n を図 2 に示す。最貧層の損害は(縦軸:対数尺度)小さいが、損害が大きくなると援助が必要になる。(比較富裕層の損害はより大きくなっても MA はマイナスにはならない) 抵抗力や脆弱性を決める指標は、環境に依存する場合地域特有となる。このためには GIS (Geoinformation system) は重要な道具で、UN/ISDR2004b でも薦めている。先に金額に基づく検討を述べたが社会環境に関しては金額の検討だけでは不十分で、 $S = g(U, II)$ 、 II は社会経済因子のような検討も必要。例えば 1999 年、フランスで亜熱帯性嵐とベネズエラで地滑りが発生し、どちらの損害も約 1 兆円だったが、フランスの死傷者は 123 名に対して、ベネズエラでは約 30,000 名だった。フランスでは直ぐ復旧し回復力が高かったのに対し、ベネズエラは復旧に数年を要し、回復力は低いと言わざるを得ない。費用や死傷者以外に、他の社会経済的、環境的要素などを脆弱性指標には含まなければならない。

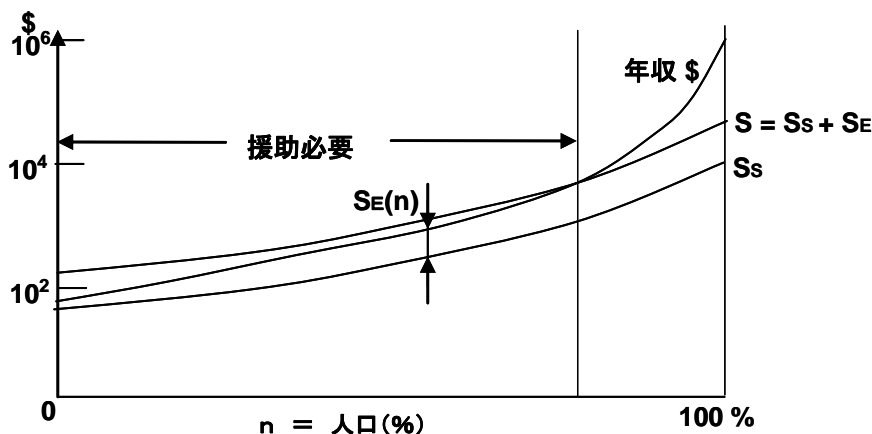


図 2 資源と必要資源の人口収入関数

抵抗力 R と脆弱性 S の指標には、経済、社会、生態系、健康、その他生活の質を表す要素を反映させる必要がある。要素には個人の健康状態や地域の環境条件等数値化できないものが在る。斯様な要素を定量化する為、「指数」(Indicator)は「要素」(Factor)と異なり、指数とは要素が数値化されたもの、「例えば土地の劣化」(要素)は、指数(1~10)で表わす。

指数が抵抗力と脆弱性の正しい指標でならなければならない、指標決定の法則は図 3 に示す。指数は I_i 添字 i は i 番目の指数を表し、重みは W_i で表す。

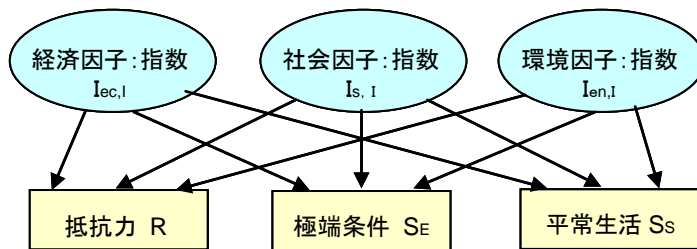


図 3 重みつき指標に基づく抵抗力と脆弱性指標

例えば土地劣化は人々の収入を低下させ、抵抗指標 R に影響を与え、生活費 S_S を変え、土地喪失を増加させる。結果洪水の規模が大きくなり、 S_E で表す被害が大きくなり、復旧費用が大きくなり、 S_E が更に増大する。指数の決定は脆弱性を評価する上で、直接被害のみならず、長期的対応や間接的効果を検討する必要がある。指標の数値変換は以下の公式を用い、 ec, s, en は夫々、経済・社会・環境条件を表す。

$$S_S = \sum_{i1} W_{Sec,i} \cdot I_{ec,i} + \sum_{i2} W_{Ss,i} \cdot I_{s,i} + \sum_{i3} W_{Sen,i} \cdot I_{en,i}$$

$$R = \sum_{i1} W_{Rec,i} \cdot I_{ec,i} + \sum_{i2} W_{Rs,i} \cdot I_{s,i} + \sum_{i3} W_{Ren,i} \cdot I_{en,i}$$

$$S_E = \sum_{i1} W_{Eec,i} \cdot I_{ec,i} + \sum_{i2} W_{Es,i} \cdot I_{s,i} + \sum_{i3} W_{Een,i} \cdot I_{en,i}$$

上式は一次関数だが、指数関数とすることも可能で、その場合多くの指標と異なる重みをつけ、Human Development Index (HDI) として UNDP で提案された。HDI は国家の開発状況を表す指標で、人間保安指標 (HSI) は共同体から国家レベル迄有効である。UNDP-BCPR が開発した災害危険指標 (DRI) もあるが、極端危険源に晒された人口の死亡数の割合を脆弱性とする。

世界は継続的に変化しており、人間保安指標も此の変化を反映して不確実である為、確率を含むものでなければならないが、モデルの確定的要素は長期的に十分正確な必要がある。此の要求が、抵抗力や脆弱性を表す人間保安のモデルになる。

図 4 に人間保安に対する要因を示す。人間保安に対する脅威は最初に変化により、自然や社会条件が長期間安定ならば、社会や人々は安定的環境の中に隙間を見出そうとする。図 4 は世界的変化の原因－結果の繋がりを表すが、世界的変化は主として環境変化による。

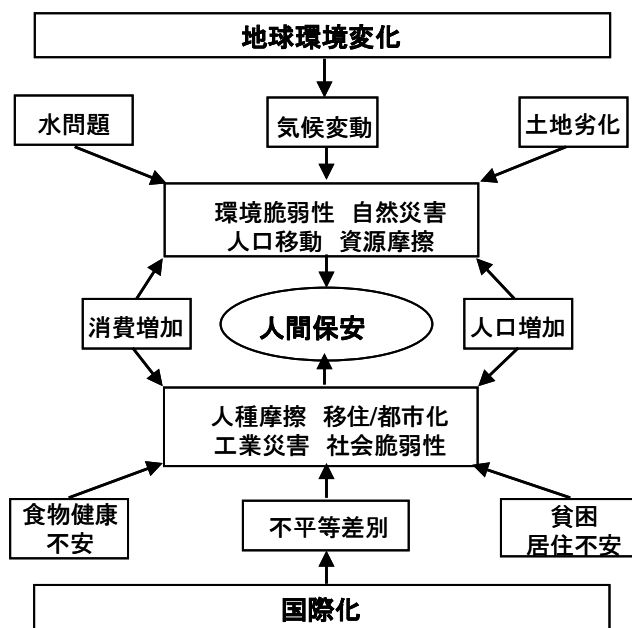


図 4 人間保安に対する国際化環境変化の影響

世界的環境変化は二酸化炭素による気候変動に注目して議論されるが、数十年と言う比較的短い時間尺度では人口増加や土地利用法の変化、森林伐採等がより重要である。環境の地域的有害な変化は人類活動により、土地劣化や水利用が極端事象に対して人々を弱体化している。国際化による社会経済的条件と国家内・国家間の不調和が寄与し、例えば同じ土地で多くの人間を養うことは土地の過負荷をもたらし、人々を森に向わせ、土地を太陽と風に晒し、土壌を破壊せしめる。消費の増加と水問題と食物・健康不安は、水起因の疾病、水質・水量不足下での生活はこれら社会要因による。洪水後の汚染水等、相互作用に抛り人間保安は脅かされる。

この様なフィードバック・ループは集団の人口に依存し、世帯の人間保安は世帯主の社会経済的位置と、川の存在等地域の環境要因に脅かされ、変化する。国家内部の共同体毎の人間保安の変化はより小さく、インフラ・高速道・その他のライフラインの損傷の様に、個々の世帯の様に影響する要因に依存し、地域の人間保安はその中にある個人・集団の保安の合計で決まる。

図 5 において脆弱性 S_s は時間の関数であり、下の線で示すが、経済変化、社会価値体系等、社会構成員の対応力の低下によって変化する。

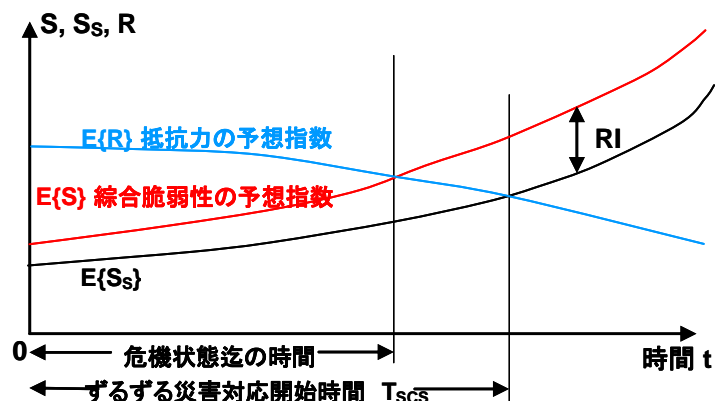


図 5 脆弱性・危機と抵抗力時間展開

図 5 において、抵抗力 $E\{R\}$ の時間展開は先進国では通常準備対策投資のため増加するが、途上国では逆に、環境劣化と人口増加のために一人当たりの抵抗力は低下する。典型的な原因は、気候や土地利用等の環境変化と人口変化(人口形態・構造)で、ゆっくり進行する。災害は脆弱性が抵抗力を超える状態として定義され、集団(或いは個人)は外界からの援助無しに自力対応が出来ず、のろのろ進行と突発極端状態が災害をもたらす。抵抗力の緩やかな減少と脆弱性の増加は徐々に災害状態に至り、極端状態が無くとも外部援助が必要になる。これが図 5 の T_{scs} である。災害を低下させる最も重要なことの一つは図 5 の二つの曲線を離すことである。

ズルズル対応災害を予想するモデルが必要で、 $t = 0$ の時点で $t > 0$ のある時点における災害を予測する事は先ず S と R を定量化することである。 R と S_s 、 T_{scs} に至る時間も誤差があるので、 $E\{R\}$ と $E\{S_s\}$ 、 T_{scs} は固有の確率密度関数を有し、時間に依存して誤差は大きくなる。モンテカルロ・シミュレーションが最も適切で、統計的手法により何時でも将来予想ができる。

責任者は世帯・地区・地域レベルの人口に対し、金額的に $E\{MA\}$ を特定することで、人間保安の代用として特定災害の低減に必要な金額を特定し、災害低減を経済条件とすることが出来る。抵抗力 $E\{R\}$ は全ての目的の為の合計金額(GNP/人)、規格化脆弱性は GNP/人の一部で、最低

社会標準を維持する為。そこで二つの曲線の差 $E\{MA\}$ が人間保安の為の金額になる。

此の過程で将来の極端事象の衝撃予想が必要になるが、即時対応 U_E が確率密度関数 $f(U_E)$ で議論され、 $MA/E\{S_E\} < 1$ なる。 $E\{S_E\}$ は危機 R_i と同一で、4 式は

$$IV = \frac{R_i}{E\{MA\}} = \frac{R_i}{E\{R\} - E\{S_s\}} \quad (6)$$

これが人間保安予測指数である。

此の式で $IV < 1$ であれば社会や世帯は平均的に極端事象を受容できる。例えば地域の全共同体で人間保安指数を決定すると、救済対策の優先付けが出来、政府或いは援助提供者に有益である。式 6 は社会の改善方向を示し、第一に分母即ち R と S の差を大きくすること、例えば対象組織内の人々の貧困を減らすことである。これによって指数を小さくすることは出来るが災害の恐怖を減らすことは出来ない。従って二つ目の方法は危機を低減することである。

計画段階で即時対応要素は危機であり、極端事象の結果として説明される。個々の極端事象に関しすべての家族の事象を検討すべきで、危険源の定義は極端事象の強度と可能性が用いられる。 RI は危機公式によって計算される (Plate, 2002b) 次式で表す。

$$RI = E\{S_E\} = \sum_i \left[\sum_j n_{ij} \cdot K_{ij} \right] \cdot P_i \quad (7)$$

式 7 において RI は要素クラス j 内の対処物あるいは人々 (危機要素) が i クラスの指標 i 、発生確率 P_i 危険事象 n_{ij} の関数であり。式 7 の内部合計はクラス i の極端事象 U_{ri} の合計。

$$S_{Eri} = \sum_j n_{ij} \cdot K_{ij} \quad (8)$$

K_{ij} はクラス j の此処の要素 n_{ij} の合計脆弱性であり、事象 I に於ける最大衝撃である。

$$K_{ij} = \phi_{ij} \cdot k_j \quad (9)$$

第二項 ϕ_{ij} は相対脆弱性 (或いは n_{ij} と共に曝露) クラス i 極端事象による k_j の w 罹災を表す。例えば全壊した家の割合、此処の家の平均損害になる。予想損害を表すこともあり、例えば洪水において、洪水のクラスを i とし、7 式において P_i を発生確率とする。しかし脆弱性は多くの種類の極端事象に依存し、各々が異なる発生確率 P_i を有する。 P_i が全ての事象の合計であれば脆弱性は K_{ij} になる。

危機公式 7 は自然災害に対する脆弱性低減法を示唆する。脆弱性レベルを抵抗力レベル以下にするには S_E を技術的に或いは計画的対策で低下させなければならない。7 式を用いて変化量を評価することで最も効果的な戦略を見いだせる。

S_E による極端状態は二つの要素で表される、極端事象の結果 (死亡者数、資産損害、間接費用等被害の大きさ) と復元力 (定常状態 S_s への復帰力)。極端事象の後回復できる人口を復元力とする。復元力がある社会は損失が大きくても回復が早く、回復力都市の好例は神戸、1994 年に巨大地震に襲われたが外部援助により数年で復帰した。復元力は定常状態 S_s に戻る対策と定義される。模式的に図 6 に示す。

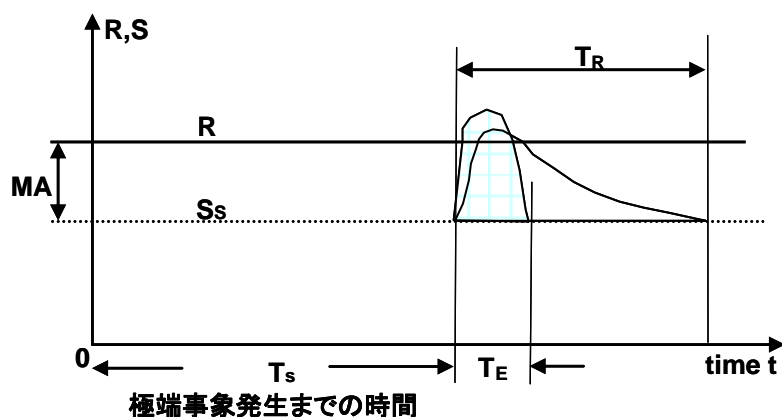


図 6 回復力(防災力)の定義

結果関数 S_E は二つの部分からなる、直接社会環境衝撃を含め人的資源人口の救助を必要とする直接衝撃と、危機状態人口を定常状態にする回復努力の定量化。最初の努力は T_E 事象そのものの間に発生し、 S_E の間接損失であり、第二は回復期 T_R の間に再建のための投資で、図 6 にあるように模式的に S_S 上の二種類の曲線で表される。

防災 (Disaster Prevention) は明確な意味を有しており、我々は自然事象の発生を防ぐことは出来ないが、人間保安のマイナス要因によって生成される災害を防護するように努力しなければならない。災害とは専門用語で、一般的な極端事象の結果生じる被害に対し、何千何百と言う死亡者と多大な金額の損害を含む。防災は単に危機管理の意味ではなく、持続的な安全対策の開発と総合防護対策で極端事象の衝撃を低減しなければならない。人間保安は、世帯から国家に至る集団が如何に極端事象に対処するか懸かっている。

本稿で優先順位付けの概念を述べたが、実用に供するには現場研究と国際的・地域的協力に基づいたデータ収集が必要である。本家研究の有益性は抵抗力と脆弱性を明確に区別したこと、基本的公式化し、正・負の指標を一つの指標にし、危機、抵抗力、通常脆弱性を表す適切な指標の検討を進めたことである。

【要約は、レジリエンス協議会海外文献翻訳チームが担当した】