

防災、減災、復旧の評価

河 村 廣

1. 序

本題の免疫防災論では自然や生命の原理の応用だけでなく防災科学としての確立をも目指しており、その一環として前ページで提唱した防災数式モデルの応用も兼ねて、本ページでは防災、減災、復旧の評価に数式モデルの導入を図ろうとするものである。

2. 免疫防災システム設計における留意点

本題の免疫防災論の一環として既に論述した冒頭の二つのページにおける考察に基づけば、免疫防災システムを設計する際の留意点を以下のように列挙することが出来る。

- ① 免疫防災システムは設計というよりも、免疫機能が効率よく発揮されるような常時の認識と即応の「場」を設定する。
- ② そのような「場」は、ソフト的には自律的なネットワークと、ハード的には時空間的にユビキタスな情報交流を可能にする情報通信網の完備とその端末機を普及させる。
- ③ そのような「場」は、常時は潜在的であると共に、災害時には日常の生活や業務との関係性や延長性、連続性などを発揮させるようにする。
- ④ 免疫システムの抗体産生細胞は、常に入れ替わりつつ多様性を維持する抗体生産工場である。我々の社会システムも、常に多様性を保持しつつリカレントな循環型社会システムを目指すことが、環境だけでなく防災にも役立つことを意味している。

3. 免疫防災システム評価の基本構想

防災システムの設計は理論的、定量的な知見や評価に基づかなければ、単なる精神論に終わってしまう。正統的なアプローチとしては防災を科学としての確立を図ることが先決であるが、科学に至る途上にある現段階では、以下のような仮説的な手法を提案したい。

3-1. リカレント評価モデル

人間の脳の研究も今日飛躍的に進んだとはいえ免疫と同じように未解明の点が多い。筆者は脳の左脳、右脳、前頭葉、後頭葉の機能を模して、図1のような人工社会脳を提案している[1,2,3]。理性的であり偏りを無くするためレーダーやエンジンのように回転する仕

掛けとしており、リカレント評価モデルと称している。同図(a) は位相平面を、(b)は主軸波動を、(c)は主軸波動から位相平面を構成するメカニズムを描いたものである。

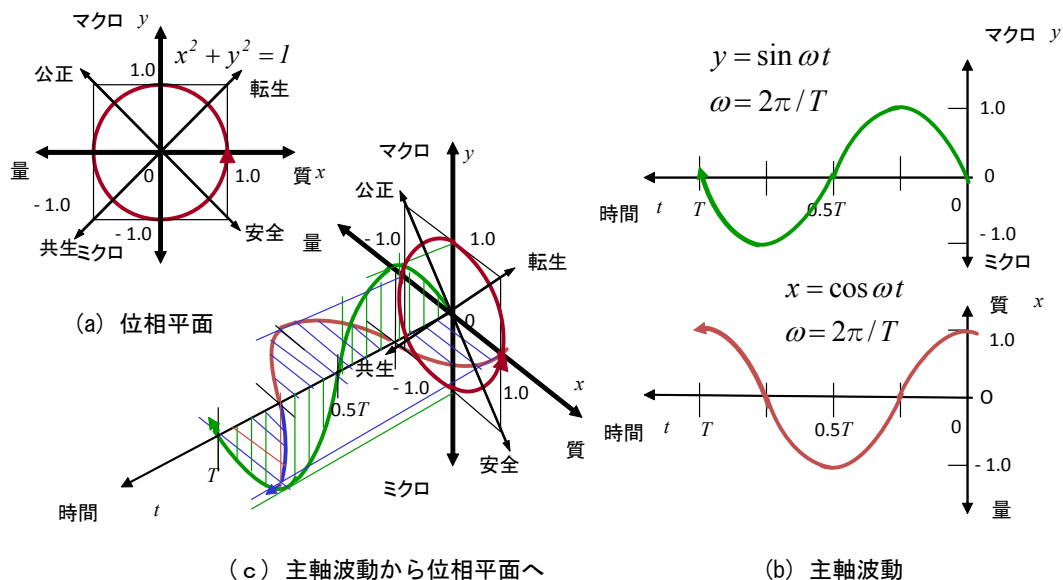


図1 リカレント評価モデル

本モデルは持続可能な社会システムの評価、制御、設計に資するもので、社会の評価尺度として「転生」⇔「共生」、「公正」⇔「安全」を設定し、それらは定量化、計量化が可能なものとし、評価を行う位相平面上の直交推移軸とする。それらを45度右に回転させた軸を考え、客観的かつ原理的な評価視点、「質」⇔「量」、「マクロ」⇔「ミクロ」を意味する直交主軸とする。図2に位相平面における直交推移軸及び直交主軸について拡大詳述する[1]。

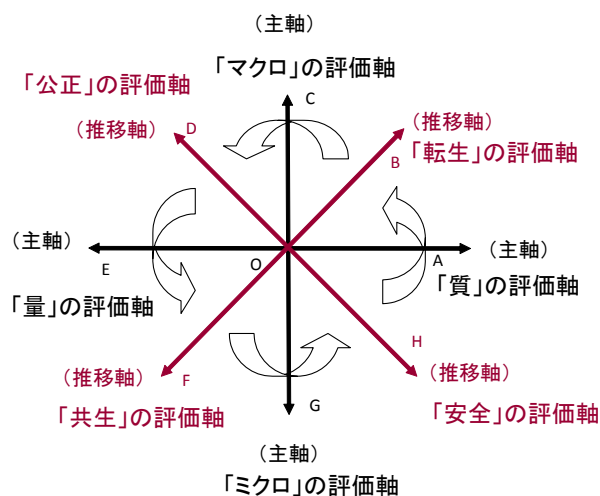


図2 評価軸(主軸と推移軸)の位相関係

一般的な応用としては、例えば資源循環型社会ネットワークにおいて計量化された推移軸の転生、公正、共生、安全から位相平面を描き、リサーチ分析により質⇔量、マクロ⇔ミクロの主軸の波形を求め、その波形からその社会の健全性（たとえば持続可能性などの観点から）を評価し、設計、制御に役立てることが出来る[2]。理想状態は推移軸、主軸共に正弦波で与えられ位相平面上に円を描き、設計、制御目標となるものである。

3-2. リカレント評価モデルの防災への応用

3-2-1. 推移軸の定量化

リカレント評価モデルを防災問題に応用するには、評価尺度について図2の「転生、公正、共生、安全」を図3の「復旧、公正、救助、安全」に置き換えることを提案したい[3,4]。

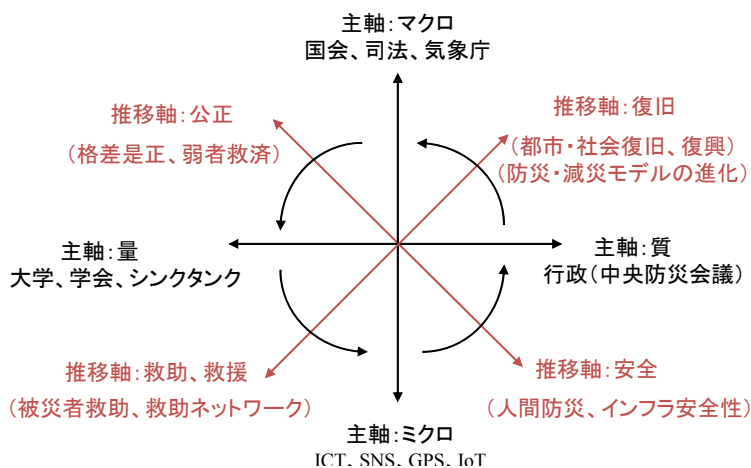


図3 リカレント評価モデルの防災評価への応用

更に防災問題を意識しつつ、主軸の評価視点に立つべき機関として、質→政府（中央防災会議）、マクロ→国会・司法・気象庁、量→大学・学会、ミクロ→ICT・SNS・GPS・IoTなどを想定すれば、彼らは社会的指導層組織の防災上の役割を分担することになる。

ここで問題となるのは推移軸の評価尺度の定量化であるが、本題の免疫防災論の一環として先のページにおいて既に論述した被災直後からの被災者数の推移状況に着目しよう。

図4は同ページにて導入した防災数理モデルの再掲であるが、その3次元位相空間解軌道PQが定性的であるが図5のように与えられたとしよう。但し、図5では x, y, z は地域の総人口 K_0 で除して無次元化されている。P'Q', P''Q'', P'''Q'''はそれぞれ $x-z$, $x-y$, $y-z$ 位相平面解軌道である。点Pが $t=t_0$ における x_0, y_0, z_0 の座標を、点Qが $t=t_1$ における x_1, y_1, z_1 の座標を有するものとし、 x, y, z の時間軸に関する解が定性的に図6の(a),

(b), (c) のように得られるものとしよう。

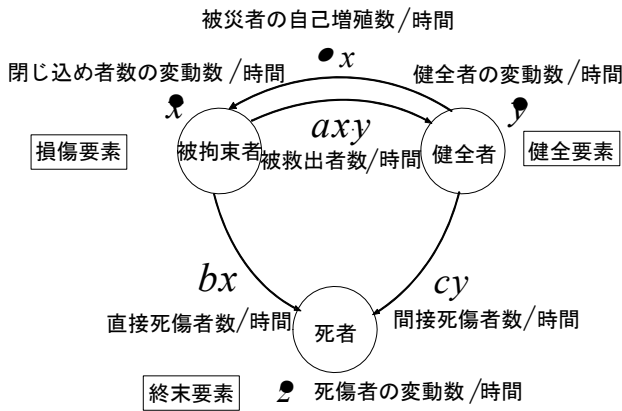


図4 防災数理モデル

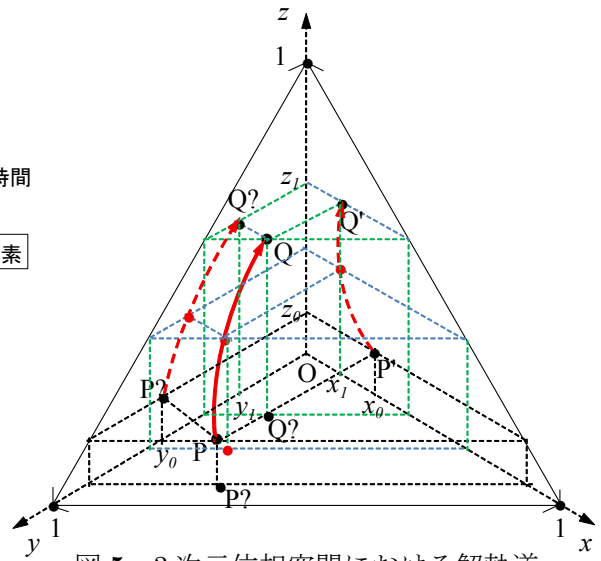
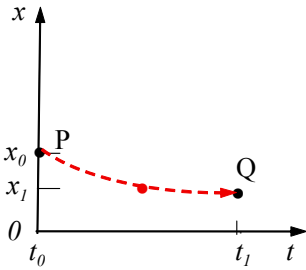
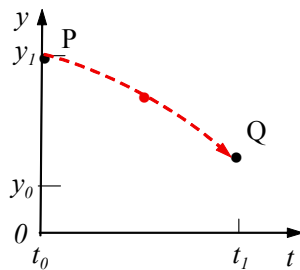


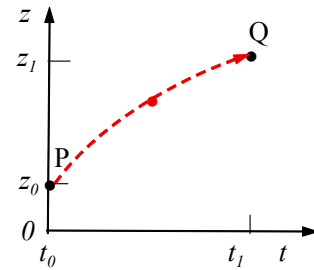
図5 3次元位相空間における解軌道



(a) $x-t$ 関係



(b) $y-t$ 関係



(c) $z-t$ 関係

図6 x, y, z の時間的推移解

一方、3次元位相空間の3角形XYZ上において防災、減災、復旧システムとしての評価を数量化し E で表し、図7のように与えるものとしよう。

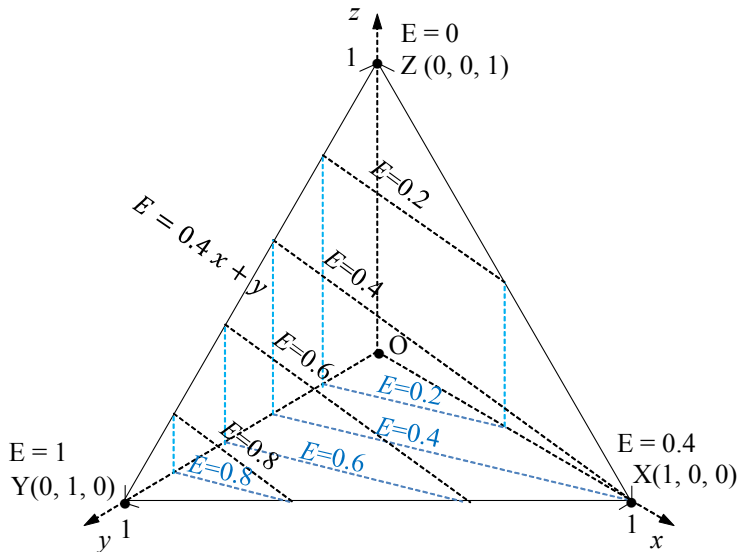


図7 3次元位相空間における防災システムの評価(仮定)

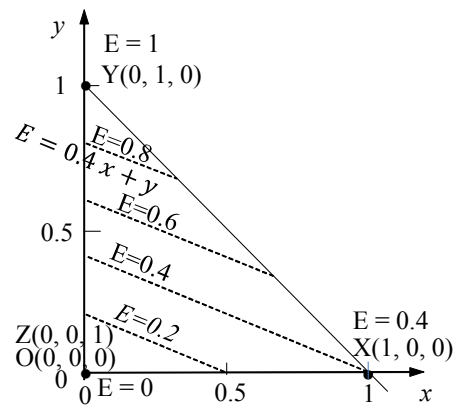


図8 $x-y$ 位相平面における防災システムの評価(仮定)

x, y, z はそれぞれ被拘束者数、健全者数、死者数と定義されているので、 $y = 1$ の場合は $E = 1$ 、 $z = 1$ の場合は $E = 0$ として異論はないであろう。 $x = 1$ の場合はその内何名が幸いにも救助されるかそれとも不幸にも帰らぬ人となるか、それはインフラ構造や地震、津波、火山などの自然災害のパターンによっても異なるであろうから、ここでは $E = 0.4$ と仮定しよう。(不帰の人になるほうが救助される人よりも若干多くなると見込まれる場合である。)

図7では3次元位相空間の三角形平面の頂点 X, Y, Z における上記の E と x, y, z の座標が併記されている。これらの条件と式1から E は式2で与えられる。

$$x + y + z = 1 \quad (1)$$

$$E = 0.4x + y \quad (2)$$

但し、 E は式1より x, z または y, z の関数としても与えることができる。

図7では3次元位相空間の三角形平面上に E を0.2ピッチの等高線(破線)で視覚化した。空間的な理解を容易にするため、式2を同図 $x-y$ 位相平面上に青破線で併記し、改めて図8にも示した。

図5の3次元位相空間の三角形平面上の解曲線を改めて図7の三角形平面上に書き写したのが図9である。

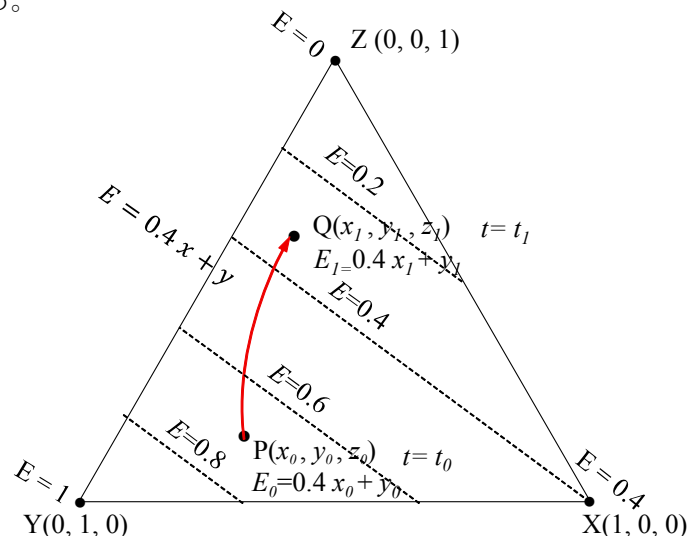


図9 解軌道と始点、終点における防災システムの評価

ここで本稿での提案であるが、図3の推移軸「安全」の評価 E_s として図9の $t = t_0$ における $P(x_0, y_0, z_0)$ の E_0 即ち式3を採用することである。被災直後のシステムの評価はシステムの安全性そのものを表していると考えられるわけである。

$$E_s = E_0 = 0.4x_0 + y_0 \quad (3)$$

次いで、図3の推移軸「復旧」の評価 E_R としては仮説的な段階であるが、以下の

ように考えてみよう。 本題の前ページで言及したが、図 4 の防災モデルは一過程であり災害が沈静化し復興が軌道に乗るまでは変容と進化を遂げて行く。一般には大規模な災害になると時間軸と共に自助、共助、公助の順に減災や救済活動も大規模になって行く。横軸に対応組織の総人口をとり、縦軸にモデルの頻度やケースの数をとると図 10 のように両対数軸座標面で右下がりの直線状をなすものと推定される[5,6]。この性質はべき乗法則と言われ自然界や人間社会においても一般的に見られる性状である。考察は筆者の別の小窓の新・極限耐震設計論で行っているので参照されたい。従って、この自然的、社会的な法則を前提とするならば、防災、減災モデルの変容と進化がこの法則への整合性が高いほど社会システムとしての復元性も高いと考えられるので、例えば回帰直線の相関係数 ρ を求め E_R とおくことが出来る。 ρ が 1 に近ければ相関性が高く 0 に近ければ低いと看做せるからである。場合によっては回帰直線の負勾配の検討も必要になるかも知れない。

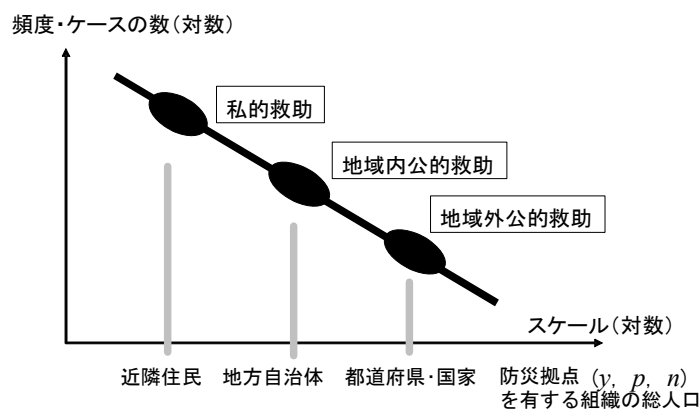


図 10 防災・減災ネットワークのべき乗分布則

図 3 の推移軸「公正」の評価 E_F は一概には定義し難いが、一つの案として以下のように考えて見たい。図 4 のネットワークがある行政区域全体でモデル化される場合、地域を例えば避難所単位に区分しその単位地域毎にモデル化を行えば、上記の E_S (又は次に述べる救助、救援の評価 E_C) が単位地域の数だけ求まるのでその正規分布近似から標準偏差 σ を求め、 σ が 0 の時は $E_F = 1$ 、 ∞ の時は $E_F = 0$ となるような σ の関数 F を設定し、その値を E_F とすることも出来よう。

図 3 の推移軸「救助、救援」の評価 E_C については、図 9 の点 Q について $t = t_l \rightarrow t_{cr}$ と復旧、救援の限界時間を設定し、 $Q(x_{cr}, y_{cr}, z_{cr})$ における E_{cr} 即ち式 4 を採用することとする。

$$E_C = E_{cr} = 0.4 x_{cr} + y_{cr} \quad (4)$$

3-2-2. リサージュ分析[2]による主軸波形への変換

防災、減災モデルは実測上でもよいしシミュレーションでもよいが、上記の手順で定量化された推移軸から位相平面上に閉曲線を描き、リサージュ合成とは逆プロセスのリサージュ分析により主軸の波形を解析すると、図3に示される各主軸上の防災組織や手段の職務遂行能力が明らかにされる。

推移軸の評価により与えられたリサージュ図形に関するリサージュ分析の例を図11に示す[2]。同図(a)推移軸の復旧、公正、救助、安全の点A, B, C, Dは評価 E_R, E_F, E_C, E_S で与えられている(式5)。それらを通る黒実線の楕円 ABCD、赤実線の外接長方形 EFGH、赤点線の内接四角形 ABCD の三種のリサージュ図形を想定し、それぞれに関してリサージュ分析を行い、得られた結果として x, y の主軸波動特性を同図(b),(c)に示す。

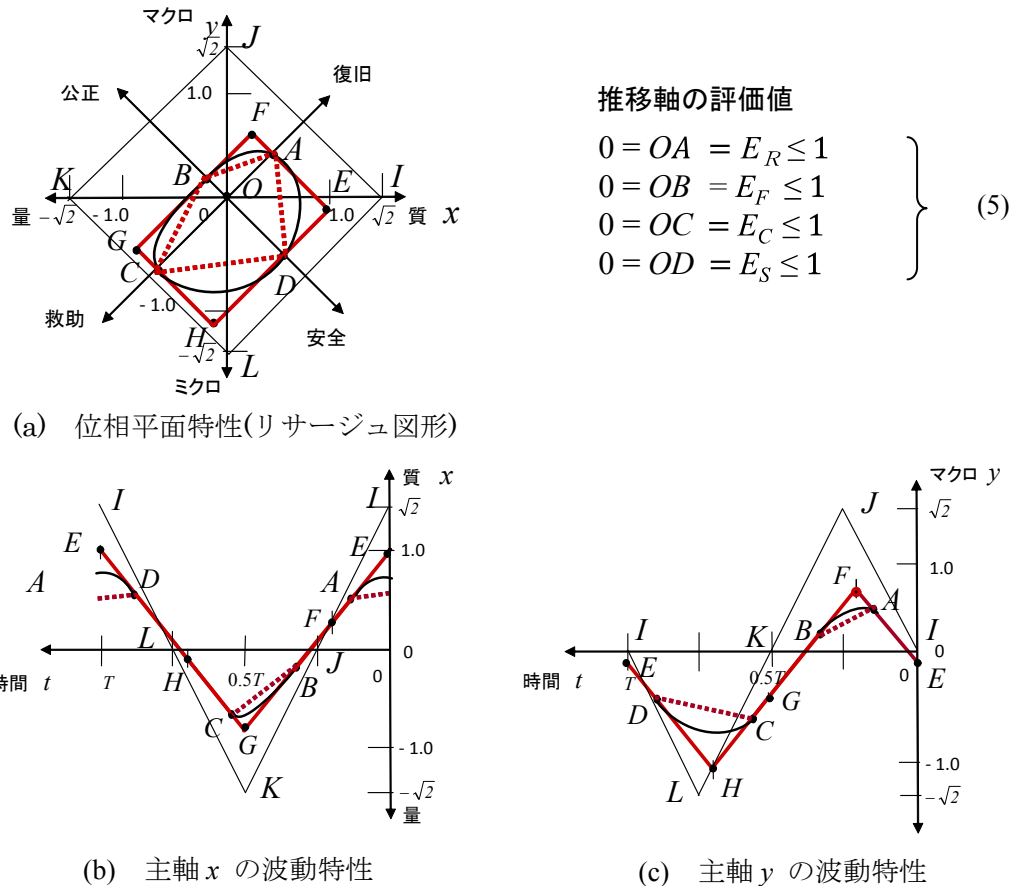


図11 リサージュ図形のリサージュ分析とその結果

リサージュ分析により求められた主軸波形は図3の主軸の防災組織において、上記の評価値が災害時における実測結果の場合は職務評価のみならず、仮定又は推定の条件の下でのシミュレーションの場合は努力目標ともなるであろう。

4. 考察

本題の免疫防災論の先のページで解説したように、生物の免疫システムは既得の知見に基づく組織的な対応と未知の外敵に対する自律的、自己組織化的な対応の 2 本立てになっている。本稿の第 2 章の防災システムの設計で後者のシステムに重点的に言及したのは、一般には後者のシステムについての認識が乏しいので、強調する必要があったからである。

第 3 章の防災システムの評価では、マクロの視点の主軸に属する復旧と公正の評価に自律的な特性を考慮している。但し、復旧の評価ではべき乗分布則を判断の基準にしているが、公正の評価では正規分布の標準偏差を引用しているのは、社会的正義に基づくと考えたからであるが、現実にはべき乗分布を示す可能性が高く、その場合は下限を設定するのが妥当とも思われる。

いずれにしても免疫や防災のシステムにおける自律的、自己組織的な面からの調査研究は緒に就いたばかりで、今後の課題として取り組んでゆく必要がある。この方面での非常に興味ある実践的な試みがなされ大きな成果をあげた例が、この度の東日本大震災で見られたので紹介したい。

一つは早稲田大学大学院(MBA)客員准教授の西條剛央氏が 2011 年 4 月に立ち上げた「ふんばろう東日本支援プロジェクト」というボランティア組織である[7,8]。SNS を活用し、3000 箇所を超える避難所や仮設住宅に種々の支援物資を調達し送り届ける自律的かつ有機的活動で、協力者の範囲は全国的な広がり展開されたのである。1 年で役割を終えたが、各種の賞を受賞されており、世界的にも注目、評価されている。

西條剛央氏は本手法を構造構成主義による新組織論と位置付けており[8]、これは複雑系の原理に基づくもので、免疫防災システムとして申し分のないものである。

もう一つは MIT メディアラボ所長の伊藤穰一氏らが東日本大震災の 2 日後に立ち上げた「セーフキャスト」で、市民による放射線測定ネットワークである[9,10]。登録は約 500 人、実働は 360 人くらいで、毎週 100 件ほどのデータが届き、発足 4 年で 3000 万地点以上の測定データが集まっており、結果は HP 等に載せられている。不明な点の多い公的な測定結果を補完するものとして大きく評価されており、受賞歴もある。観測者は国際的にも広がりを見せている。

生命体では異物が侵入すると直ちに敵か味方かの判別作業から始まり必要な対策が講じられる仕組みになっているが、「セーフキャスト」ではそのような探索や情報伝達のリアルタイムのシステムが模されていると思われる。

上記の2例は自律的、自己組織的な免疫システムの典型例であり、その上実践例でもあることから、今後の免疫防災システムの科学化に資する貴重な情報となるであろう。

5. 結

本ページでは免疫防災システムの設計における基本的な留意点を述べ、次いで防災、減災、復旧の評価に関する基本構想を提示した。手法は共に筆者提唱の前ページの防災数理モデルと人間の頭脳機能を模したリカレント評価モデルへの応用であるが、本題の免疫防災システムの科学化や数理化に向けて一つの道筋を提示したものである。

補遺：

本稿は2006、2007年頃に発表したリカレント評価モデルと防災数理モデルをベースに防災システムの評価方法をまとめ直したものであるが、防災数理モデルの出力を基に新たに評価値 E を導入した点に本稿の特色がある。当初は非現実的と思われていた防災数理モデルの出力の極端な性状も、2011年東日本大震災が地方の喪失もあり得ることを如実に示し、再度取り上げることにした。しかし東日本大震災による検証は手付かずであり、今後の課題である。

文献：

- [1]河村廣：リカレントモデルによる社会システムの評価とデザイン、第50回システム制御情報学会研究発表講演会講演論文集、pp.109,110, 2006,5.
- [2]河村廣：リカレント評価モデルによる社会・都市・建築システムの発展と衰退のダイナミズム、日本建築学会近畿支部研究報告集、第46号・構造系、pp.5-8, 2006,6.
- [3]河村廣：リカレント評価モデルによる社会・都市・建築のデザイナー位相平面特性一、日本建築学会大会(大会)学術講演梗概集、環境系、CD-ROM(Volume 3(E))、論文No.11054, pp.523-524, 2006,9.
- [4]河村廣：持続可能社会のリカレント評価モデルによる評価・デザイン・制御システムー評価者の指示・実践・評価のアルゴリズムー、第51回システム制御情報学会研究発表講演会講演論文集、CD-ROM, 1F3-1, pp.195,196, 2007,5.
- [5]河村廣：数理モデルによる防災ネットワークの構築および評価、日本地震工学会大会ー2007 梗概集,pp.390,391, 2007,11.

- [6]河村廣：防災数理モデルの変容と進化のネットワークー免疫防災システム：被災地域域内から外へ，非組織的から組織的へー，日本建築学会，第30回情報システム利用技術シンポジウム論文集，pp.133-136, 2007,12.
- [7]西條剛央：人を助けるすんごい仕組み、ダイヤモンド社、2012年.
- [8]西條剛央：チームの力ー構造構成主義による”新”組織論、筑摩書房、2015年.
- [9] SAFecast： <http://blog.safecast.org/ja/>
- [10]日本経済新聞：市民が支える科学の進歩、市民参加で広がる科学の世界、放射線計測（セーフキャスト）、2015年8月23日付、朝刊.