

網構造で表現される因果関係の動的解析システムNESSY-III†

平松敏祐†† 福村晃夫†††

情報の流れと物の流れ（人間の行動）の二種類の流れによって表現される因果関係の動的解析システムNESSY-III (DYNAMIC NET STRUCTURE ANALYZING SYSTEM OF CAUSAL RELATIONS-III)を開発した。網構造の因果関係モデルは、ノード名、ノードレベル、流れの方向、遅延時間、遷移確率などの状態変数から構成される二項関係の集合として定義する。ノードレベルの状態に応じて、シミュレーションの実行中に網構造を修正したり、いくつかの二項関係を起動して追加することができる。NESSY-IIIを地震予知情報の公表に起因する情報パニックや人間の行動の解析に適用し、都市の大きさや地震予知情報公表のタイミングが人間の行動に及ぼす影響をシミュレーションにより解析した。この応用例からNESSY-IIIの有用性が実証される。

1. はじめに

1.1 本研究の目的

地球上において進行する諸現象は、人間活動と自然界との多方面にわたる複雑な相互作用の結果として生ずる。これらの複雑な相互作用の解明には、計算機によるシミュレーションが有力な解析手段となるが、そのためには、進行する諸現象の核心的な部分を何らかのモデルとして記述する必要がある。本研究は、

(1) 自然現象に対する人間の行動過程と情報の伝達過程を、それぞれ「物の流れ」と「情報の流れ」を表わす二種類の因果関係で記述し、これらの因果関係の相互作用により生ずる因果関係モデル全体の流れを解析する。

(2) 因果関係モデルは固定ではなく、シミュレーションの実行中に動的に変更（追加、消去）しながら解析する。

(3) 解析システムの有効性と応用、将来の発展性を調査する。

の3点に眼目をおいた、網構造で表現される因果関係の動的解析システムを開発することを目的としている。はじめに、本研究の背景について述べる。

1.2 システム開発の背景

社会、経済などの諸組織に存在する因果関係を構造的な観点からながめると、通常は複雑なループ(loop)が多数含まれているから、その解析には、網構造のル

ープまでを処理できるシステムが必要となる。最近、会話型ネット・シソーラス処理システム^{1)~4)}(NESSY-I)が筆者等により開発された。NESSY-Iは、ループを含む網構造で記述されたシソーラスの構造解析システムで、ネット・シソーラスの任意のキー・ワード(Key Word)の上位語または下位語の検索や、二つのキー・ワード間のルート(route)検索、任意のキー・ワードを通るループの検索等を行う機能を持つ。その後、NESSY-Iに数値情報(遅延時間と遷移確率)を導入した、網構造で表現される因果関係の解析システム:NESSY-II⁵⁾が開発された。NESSY-IIは、因果関係の構造解析の他に、数量的な解析が可能で、地震予知情報による情報拡散モデルの解析⁵⁾に適用された。NESSY-IIの使用経験から、次のような機能が要求されるようになってきた。

(1) 情報の流れと物の流れ（人間の行動）の相互作用によって生じる、解析モデル全体の流れを時間を追って解析する。

(2) 複雑な現象を解析の対象とするため、解析モデルは、木構造ではなく、網構造で記述する必要がある。また網構造の内部に包含されているループ中の流れをも動的に解析する。

(3) 網構造を持つ解析モデルは固定ではなく、状況に応じて、部分的な変更（追加または消去）を加えながらシミュレーションを実行する。

(4) シミュレーションの実行中、ある特定の時間（たとえば、地震予知情報が公表された時間とか、大地震が発生した時間等）に達した時に、あらかじめ用意しておいた一群の因果関係を、割り込みの形で解析モデルに追加して、その影響を解析する。

(5) 解析モデル内の情報の流れと物の流れは、二

† Dynamic Net Structure Analyzing System of Causal Relations ...NESSY-III by TOSHISUKE HIRAMATSU (Computation Center, Nagoya University) and TERUO FUKUMURA (Department of Information Engineering, Nagoya University).

†† 名古屋大学大型計算機センター

††† 名古屋大学工学部情報工学科

つの変数（遷移確率と遅延時間）を用いて表現し、これらの二つの変数の値は、シミュレーション実行時の時間帯に応じて変更できるようにする。

以上のような要請に基づき、NESSY-IIの解析機能を強化・拡充して、網構造で表現される因果関係の動的解析システム NESSY-III^{(6), (8)}を開発することにした。

1.3 システムの特徴

本研究で開発されるシステムの特徴を明記すると次のようである。

(1) 複雑な網構造が、二つのノード間の関係を基本要素とする二項関係の集合として表現されているため、網構造の追加や削除、修正が容易である。

(2) 物の流れと情報の流れを二種類の二項関係で表現し、それらの相互作用から生ずる因果関係全体の動向を解析する。

(3) 時間の推移と共に因果関係を追加または削除したり、また特定の条件が成立したときに、網構造を自動的に変更しながら、シミュレーションを続けることができる。

1.4 システムの設計方針

本研究で開発された、網構造で表現される因果関係の動的解析システム：NESSY-III (Dynamic Net Structure Analyzing System of Causal Relations III) は、次の方針に沿って機能設計を行った。

(1) 因果関係の生成と修正、解析はすべて会話形式で行う。

(2) 他機種への移行を考慮に入れ、主に FORTRAN 言語で記述する。

(3) 「物の流れ」と「情報の流れ」の二種類の因果関係のうち、「物の流れ」に対しては、質量保存の法則が成り立つものとする。

(4) 因果関係は、二つのノードの間に方向性と遅延時間、遷移確率、および有効時間帯を与えた二種類の二項関係の集合として記述し、システムの内部では、マトリックスではなくリレーション・テーブル (relation table, 関係表) を用いて表現する。

(5) ノードは、一般ノードとモニタ・ノード (monitor node)、ダミー・ノード (dummy node) の三種類からなり、一般ノードとモニタ・ノードは利用者が与え、ダミー・ノードは、遅延時間を調整するためにシステム内部で自動生成される。モニタ・ノードに対しては、シミュレーションの実行中その様相の変動を調べるため、指定単位時間ごとに、そのノードに関

する状態量、すなわち、レベル (level)、流入量 (inflow)、および流出量 (outflow) が出力される。

(6) 各ノードには、ノードの型 (node type)、レベルの初期値および二種類のしきい値に関する情報を与え、これらの情報を用いてシミュレーションの実行中に、因果関係を状況に応じて動的に変更（追加または消去）する。

(7) 因果関係を動的に変更する機能の他に、シミュレーションの実行中に、一群の二項関係を、指定した時刻に起動して追加する機能を持つ。

2. システムの概要

NESSY-III は、67個の FORTRAN プログラムと4個のアセンブラ・プログラムからなり、全体で約2,700ステップで87kwを占め、一度に、ノード数が270個程度、ノード間の二項関係が1,000個までの因果関係を解析することができる。

2.1 因果関係の記述

網構造を持つ因果関係は、次に示す二種類の二項関係の集合として外部表現される。

(a) $(A > B(T, P, \text{Phase No.}))$ ……指定された遅延時間 T と遷移確率 P でノード A のレベルがノード B に移動する。この二項関係は主に「物の流れ」を表現するのに使用する。

(b) $(A = B(T, P, \text{Phase No.}))$ ……指定された遅延時間 T と遷移確率 P でノード A のレベルをノード B にコピー (copy) する。この二項関係は、「情報の流れ」を表現するのに使用する。

ここで A と B はノード名で、空白を含む40文字以内の英数字列で記述する。ノード名の先頭の一文字が「*」で始まるノードを特にモニタ・ノードと呼び、シミュレーションの実行中に、指定したタイム・ステップごとに、そのノードの状態量 (level, inflow, outflow 等) の変動の様子を監視する。 T と P は、ともに整数で、ノード A とノード B の間の遅延時間 ($n \Delta t$) と遷移確率 (%) を示す。Phase No. は、各二項関係の有効時間帯を指定する13種類の整数値 (0, 1, 2, ..., 10, 20, 99) のいずれかで、フェーズを指定するコマンド「PH(t_1, t_2, \dots, t_{10})」(表2参照)により図1のように設定される。0~10のPhase No.によって示される二項関係の有効時間帯を表1に示す。Phase No. が20の二項関係は、図1に示すように、コマンド「>PI t_n 」で指定した時刻 t_n に起動される。Phase No. が99の二項関係は、あるノードがオーバ・フロー

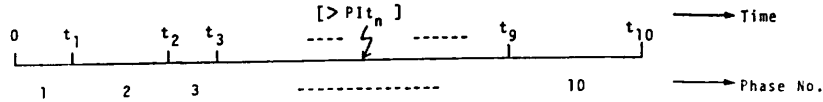


図 1 Phase No. と時間の関係

Fig. 1 Relations between Phase No. and Time.

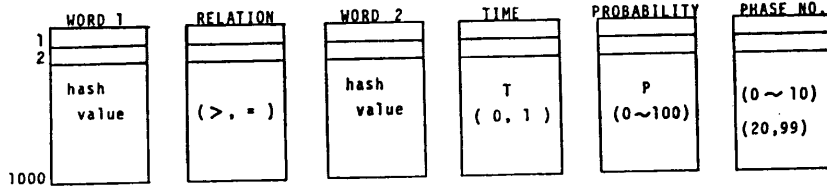


図 2 リレーション・テーブル

Fig. 2 Relation table.

表 1 Phase No. と有効時間
Table 1 Phase No. and Effective time.

Phase No.	Effective time
0	all phases
1	$0 \leq t \leq t_1$
2	$t_1 < t \leq t_2$
3	$t_2 < t \leq t_3$
⋮	⋮
10	$t_9 < t \leq t_{10}$

(threshold overflow または variation overflow) した時に因果関係を変更するために起動される予備の二項関係である。Phase No. が 20 と 99 の二項関係が起動されると、それらの Phase No. は 0 に設定し直され、以後すべてのフェーズに対して有効な二項関係となる。各二項関係の T と P, Phase No. は省略可能で、省略すると、T=0, P=100, Phase No.=0 と指定されたものとみなす。

(a), (b) のように外部表現された二項関係は、システム内部では図 2 に示すような関係表で内部表現される。ノード名は、ハッシュ関数により 1~4,096 のハッシュ値に変換して WORD 1, WORD 2 領域に格納する。このような関係表を用いることにより、最大 1,000 個までの二項関係を扱うことができる。

2.2 ノード・データの記述

網構造上での各ノードの性質と初期条件を次のように表現する。

A (node type, level, threshold, variation)

ここで「A」はノード名、「node type」は四種類の正の整数値 (0, 1, 2, 3) で、ノード A の型を示し、ノード A がオーバ・フロー (threshold overflow ま

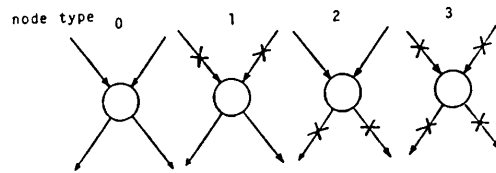


図 3 4つのノード・タイプによる二項関係の消去

Fig. 3 Deletion of binary relations by four node types.

たは variation overflow) した時には、A の入力または出力の二項関係が node type に従って図 3 に示すように切断される。「level」は、ノード A の状態量を示す初期レベル値、「threshold」は level に対するしきい値、「variation」は単位時間あたりの level の増分量に対するしきい値を意味する。ノード・データは省略可能で、省略した場合には、node type=0, level=0, threshold=99999, variation=99999 が指定されたものとみなす。

このように与えられたノード・データは、システム内部では、図 4 と図 5 に示すように内部表現する。図 4 は、ノード名と HASH TABLE, NODE TABLE の間の関係を示す。ノード名はハッシュ関数 (f_h) に

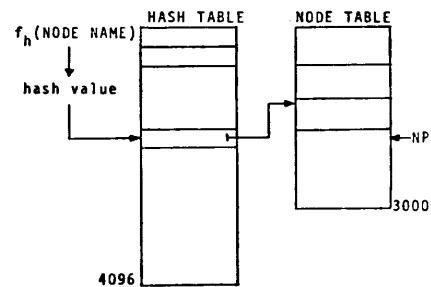


図 4 HASH TABLE と NODE TABLE

Fig. 4 HASH TABLE and NODE TABLE.

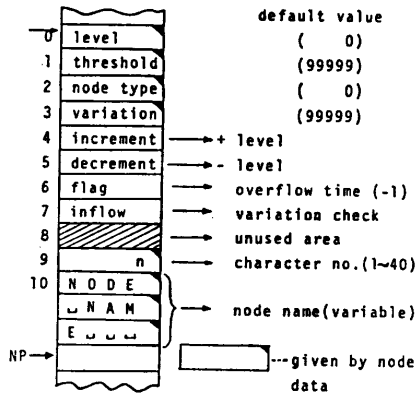


図 5 NODE TABLE の詳細
Fig. 5 Details of NODE TABLE.

よりハッシュ値 (1~4,096) に変換され、そのハッシュ値により示される HASH TABLE 領域には、そのノードに関する情報を格納しておく NODE TABLE 領域の番地 (1~3,000) を格納する。ハッシュ値の計算でコリジョン (collision) が生じた場合には、ハッシュ値を1ずつ加算して HASH TABLE の空領域をサイクリックに探す。NP は NODE TABLE の空領域の先頭を示すポインタである。1つのノードは NODE TABLE 内に図5に示すような情報を持つ。increment と decrement は、step 1 または step 2 (4. ノード・レベルの計算を参照) ごとの level の増分量と減少量を累積する領域であり、flag は初期値は -1 で、ノードがオーバ・フロー (threshold overflow または variation overflow) した時刻を格納する領域である。inflow は、単位時間 (step 1+step 2) ごとの level の増分量の総和を格納する領域で、inflow > variation となったとき、variation overflow が起きる。また level > threshold のときには、threshold overflow が起きる。ノード名の文字数を4とすると、3,000語の NODE TABLE で、約270個のノードを扱うことができる。

2.3 因果関係の変更データの記述

シミュレーションの実行中に因果関係を動的に変更 (二項関係を消去または追加) するデータは次のように外部表現する。

(a) (A/A, B, C, D).....ノードAがオーバ・フロー (threshold overflow または variation overflow) したら、オーバ・フローした時点で有効な二項関係のうち、ノード A, B, C, D に関する二項関係をノード A の node type に従って消去する。

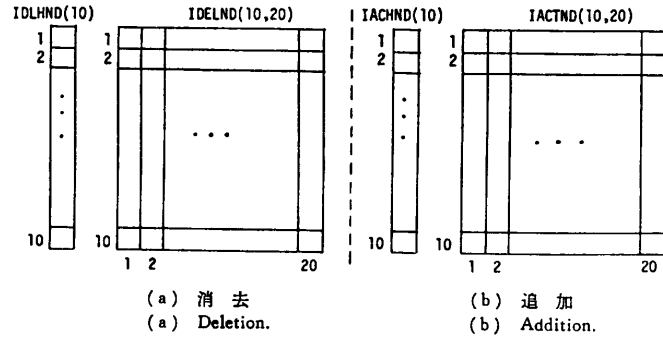


図 6 因果関係の修正テーブル
Fig. 6 Modification Table of causal relations.

(b) (A+E, F, G, H).....ノードAがオーバ・フローしたら、前もって Phase No.=99 で定義しておいた二項関係のうち、ノード E, F, G, H に関する、すべての入力および出力関係を起動して追加する。

このように外部表現された因果関係の変更データは、図6に示すモディフィケーション・テーブル (Modification Table, 修正表) を用いて内部表現する。因果関係の消去に対しては、1次元配列: IDLHND (10) と IDELND (10, 20) を用い IDLHND (1) = $f_A(A)$, IDELND (1, 1) = $f_A(A)$, IDELND (1, 2) = $f_A(B)$,, IDELND (1, 4) = $f_A(D)$ のように、ノード名のハッシュ値を格納する。因果関係の追加に対しても同様である。このような修正表を用いて、因果関係の消去と追加のデータを、それぞれ 10 種類のノードに対して 20 個まで指定できる。

3. ダミー・ノード

二種類の二項関係の集合として表現される因果関係の中に、二つのノード間の遅延時間: Tの値が1以上の二項関係がある場合には、T個のダミー・ノードをシステムで自動生成する。たとえば次の二つの二項関係に対しては、図7のように変換される。

(A>B (3, 20, 2), C(2, 80, 2))

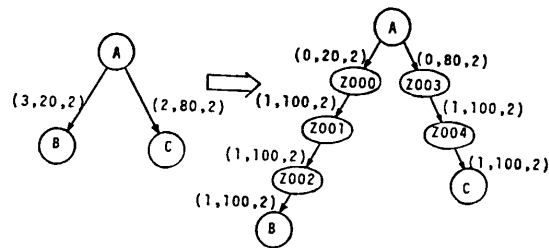


図 7 ダミー・ノードの生成
Fig. 7 Generation of dummy nodes.

この例では、与えられた二つの二項関係が、7個の二項関係に展開されている。展開された二項関係のうち、最初の二つの二項関係： $(A>Z\ 000\ (0, 20, 2))$ と $(A>Z\ 003\ (0, 80, 2))$ は、遅延時間が共に0で、遷移確率は与えられた遷移確率に等しく、その他の二項関係については、遅延時間は1、遷移確率は100(%)となる。Phase No. は、すべて与えられたものと同一である。通常のノード名との重複をさけるため、自動生成されるダミー・ノード名は、「Z」で始まる4文字で、「Z」の後に「000」～「999」の通番をつける。したがって、最大1,000個までのダミー・ノードを生成できる。

4. ノード・レベルの計算

ノード・レベルの計算は、1単位時間ごとに図8に示す二つのステップ(step 1とstep 2)を繰り返しながら、指定された最終時間 t_e まで実行する。システム内部での二項関係は、ダミー・ノードの生成により、遅延時間が0と1の二種類だけからなり、ステップ1では遅延時間が0の二項関係、ステップ2では遅延時間が1の二項関係を次のように計算する。

ステップ1: 各二項関係に対して、ノード・レベルの変動量を計算し、変動量が0に収束*するまで繰り返す。収束したらオーバ・フロー(threshold overflow) または variation overflow) チェックを行い、時間 $t < t_e$ ならステップ2へ行く。

ステップ2: 各二項関係に対して、1回づつノード・レベルの変動量を計算する。このステップの実行により1単位時間が進む。計算が終了したらステップ1に戻る。

レベルの変動量の計算は、レベルに遷移確率を乗じた量を四捨五入して増減する。たとえば、次の二つの

Time	Step
0	0 (step 1)
	+1 (step 2)
1	0 (step 1)
	+1 (step 2)
2	0 (step 1)
	+1 (step 2)
3	0 (step 1)
⋮	⋮
	+1 (step 2)
t_e	0 (step 1)

図8 実行の順序

Fig. 8 Sequences of execution.

* ここでいう変動量とは、「 $(A=B)$ 」型の二項関係の変動量は無視し、「 $(A>B)$ 」型の二項関係の変動量の絶対値の総和を意味する。

二項関係のレベルの変動量は次のように計算する。

(1) $(A>B(1, 20, 0))$ ……ノードAとノードBのレベルを、それぞれ l_a, l_b とすると、AからBへのレベルの移動量 Δv (たとえば人間の移動数)は、

$$\Delta v = (l_a * 20 + 50) / 100$$

であるから、計算後のノードAとノードBのレベルは、それぞれ $l_a - \Delta v, l_b + \Delta v$ となる。

(2) $(A=B(0, 30, 0))$ ……レベルの増減は行わず、ノードAのレベルに遷移確率を乗じて四捨五入した量をBのレベルとする。すなわち、計算前のAとBのレベルを、それぞれ l_a, l_b とすると、計算後のレベルは、それぞれ l_a と $(l_a * 30 + 50) / 100$ となる。

レベルの変動の計算が終わったとき、レベル値が ± 1 になった場合には、整数演算または四捨五入による計算誤差とみなして、レベル値を0にする。

網構造を持つ因果関係モデルの解析は、その構成要素である各二項関係の演算の順序とは無関係に、常に同一の結果が得られなければならない。そのためには、同じ遅延時間(0または1)を持つ二項関係は同時に計算する必要がある。これを実現するために、ステップ1と2ともに、各ノードに対するレベルの増分量と減少量を各二項関係ごとに累積(図5の increment と decrement 領域参照)し、すべての二項関係の演算が終了したとき初めて、累積してきた各ノードのレベル値の増分量と減少量をもとにレベルを計算する。このように、計算をレベルの変動量の累積とその清算の二段階に分離することにより、すべての二項関係は、みかけ上、同時に計算したことになり、二項関係の計算の順序とは無関係に、網構造の因果関係モデルに対して常に同一の解析結果が得られる。

5. 会話型コマンド

NESSY-IIIは、大型機(F230-75)のCPS(Conversational Programming System)のもとで動く会話型システムで、シミュレーションの実行は、表2に示す会話型コマンドにより行う。コマンドは、1文字または2文字の英字からなり、詳細情報が必要な時には、その後続けて記述する。コマンドが受け付けられる状態の時には、入力促進記号「>」がシステムから出力される。表2の「B」と「C」は、相異なるノード名であり、「element name」は分割型順編成ファイルの中のエレメント名を意味する。

表 2 コマンドと機能

Table 2 Commands and functions.

COMMANDS	FUNCTIONS
1. A(B>C(T, P, Phase No.))	(B>C) の二項関係を追加する.
A(B=C(T, P, Phase No.))	(B=C) の二項関係を追加する.
A(B/C)	BとCの間の関係を切断する.
2. DN	すべてのノード名を出力する.
DR	二項関係の一覧表を出力する.
3. E	NESSY-III の実行を終了する.
4. G	指定された条件のもとでシミュレーションの実行を開始する.
5. I	NESSY-III システムを初期化する.
6. M element name	[element name] で指定された変更データをファイルから読む.
7. N element name	[element name] で指定されたノード・データをファイルから読む.
8. PH (t ₁ , t ₂ , ..., t ₁₀)	t ₁ , t ₂ , ..., t ₁₀ の 10 個の整数値で Phase Data を与える.
PI t _n	[Phase No.=20] で記述した二項関係の起動時間「t _n 」を与える.
9. QC	実行の条件(終了時間, モニター間隔等)を出力する.
QN	ノード情報を出力する.
QP	指定した Phase データを出力する.
QR	システム・リソースの使用状況を出力する.
10. S element name	[element name] で指定された二項関係をファイルから読む.
11. TL t _e	シミュレーションの終了時間「t _e 」を指定する.
TM t _m	モニタ時間間隔「t _m 」を指定する.
12. V element name	二項関係を [element name] という名前をつけてファイルに格納する.

6. 応用例

NESSY-III は「地震予知公表による情報パニックと人間の行動」の解析に適用された⁵⁾. 以下にその概要を示す.

6.1 シミュレーション・モデル

人は、居住地域(家庭)と仕事地域(会社, 学校等)の二つの地域間を往来して, 1つの社会システム系を形成している. ところが, ひとたび大地震が発生すると, この社会システムは破壊され, 家族が居住地域と仕事地域に分離されたり, 二つの地域を結ぶ電話線が切断され, 相互の通信ができなくなったりする. これらは, パニック発生 の 主要な原因となる.

最近, 大地震の起きる前に地震予知情報が公表された場合の人間の意識と行動調査⁷⁾が行われた. この調査結果をもとに, 地震予知情報が公表されたときの人間の行動と情報の伝達経路を図9に示す因果関係としてモデル化した. 図9の各二項関係で表現される人間の行動を遷移確率で表現すると表3のようになる. さらに地震予知情報公表の過程は, 図10のようにモデル化され, 「図10→(I, II)→図9」のような総合モデルが形成される. この総合モデルを用いて, いろいろな状況における地震予知情報公表の影響を解析する. 解析に用いた因果関係データの一部とノード・データ, および因果関係の変更データを表4に示す.

図9に示す因果関係の変更データを表4に示す.

6.2 シミュレーションの実行の方針と条件

次の方針に基づいてシミュレーションを実行した.

- (1) 電話が通じなかったら, 帰宅(GO HOME)または逃避行動(RUN AWAY)をおこす.
- (2) 交通麻痺がおきたら, 避難不能となる.
- (3) 遷移確率は, タイム・ステップまたはノードのレベル値の関数とする.
- (4) 地震の発生とか非常時の行動は, Phase No.=20 の二項関係で規定する.

シミュレーション実行の条件は, 次の通りである.

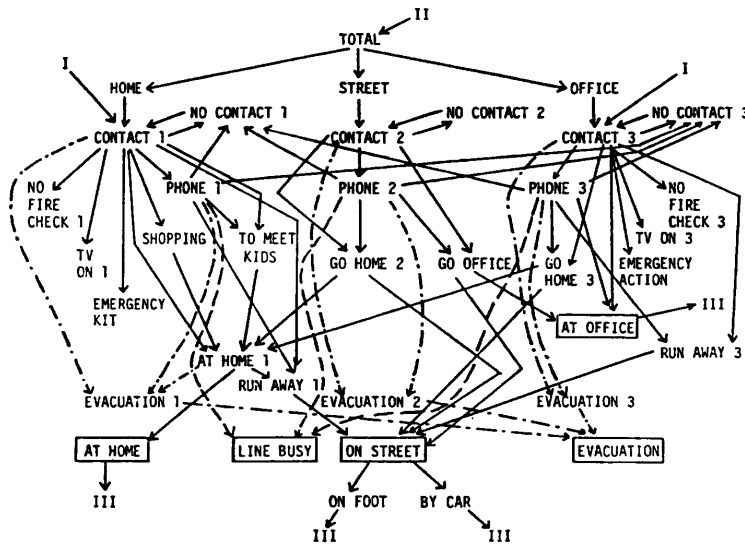


図 9 地震警報が公表された時の個人の行動様式を示す網構造リレーショナル・モデル. HOME, STREET, OFFICE は, 情報が公表された時の個人の居場所を意味する.

Fig. 9 Network relational model of response of individuals when the earthquake warning is issued. HOME, STREET, OFFICE are the location of individuals when the information is issued.

表 3 静岡—清水(都会)地域での警戒宣言の公表に接した個人の行動

Table 3 Behaviors of individuals contacted with the warning issue at Shizuoka-Shimizu (urban) area.

	home (%)	office (%)	street (%)
fire check	85	25	—
prepare for emergency	65	39	—
TV, radio on	40	42	—
communication with neighbors	37	21	90
phone call	35 (to office)	51 (to home)	61 (to home) 22 (to office)
phone call to administrators	6	10	10
evacuation to the designated place	33	31	—
go out	—	33 (to home)	54 (to home) 6 (to office)

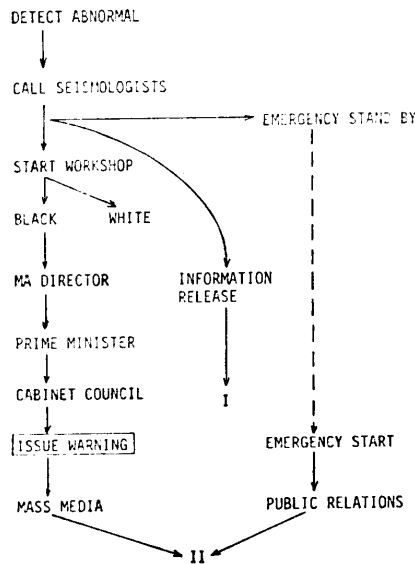


図 10 警報公表の過程. I と II は、それぞれ、状況の公表と政府による予知情報の公表を意味する.
Fig. 10 Process of warning issue. I and II represent information release and official issue respectively.

(A) 初期条件

	家庭 (%)	路上 (%)	会社 (%)
休日以外の昼間	40	20	40
夜間	80	10	10
休日	60	30	10
通勤時	40	50	10

表 4 入力データの例

Table 4 Example of input data.

```

*
* LRELAT 7, 1978, 07. 25
*
* ISSUE UNIT
(DETECT>CALL EXPERT (0, 100, 0))
(CALL EXPERT>ISSUE WARNING (1, 100, 0))
(ISSUE WARNING>MASS MEDIA (1, 100, 0))
(ISSUE WARNING>PUBLIC RELATIONS (1, 0, 0))
(MASS MEDIA>HOME (0, 40, 0))
(MASS MEDIA>STREET (0, 20, 0))
(MASS MEDIA>OFFICE (0, 40, 0))
(PUBLIC RELATIONS>HOME (6, 40, 0))
(PUBLIC RELATIONS>STREET (6, 20, 0))
(PUBLIC RELATIONS>OFFICE (6, 40, 0))
* PHONE UNIT
(HOME>CONTACT 1 (0, 100, 0))
(HOME>NO CONTACT 1 (0, 0, 0))
(CONTACT 1=*PHONE 1 (0, 52, 0))
(*PHONE 1>TO HOME 1 (2, 12, 0))
(*PHONE 1>TO OFFICE 1 (2, 67, 0))
(*PHONE 1>OTHER 1 (2, 21, 0))
(TO HOME 1>CONTACT 1 (0, 100, 0))
(TO HOME 1>NO CONTACT 1 (0, -100, 0))
(TO HOME 1>TOHD1 (0, 100, 0))
:
( )
    
```

表 4.1 リレーション・データの例

Table 4.1 Example of relation data.

```

DETECT (0, 1000)
LONG CALL (0, 50)
X1 (0, 10000)
X2 (1, 0, 0, 0)
*LINE BUSY (3, 0, 200, 200)
*ON STREET (3, 0, 150, 100)
*INTEG 1 (1, 0, 399, 99999)
*INTEG 2 (1, 0, 199, 99999)
*INTEG 3 (1, 0, 399, 99999)
( )
    
```

表 4.2 ノード・データの例

Table 4.2 Example of node data.

```

* MODIFY NODE DATA, 1978. 07. 25
* MDATA 7
(*LINE BUSY/*PHONE 1, *PHONE 2, *PHONE 3, *LINE BUSY)
(*LINE BUSY+*PHONE 1, *PHONE 2, *PHONE 3)
(*ON STREET/ON STREET 2, ON STREET 3, ON STREET 4)
(*ON STREET+ON STREET 2, ON STREET 3, ON STREET 4)
(*ON STREET/RUN AWAY 1, RUN AWAY 2, RUN AWAY 3)
(*ON STREET+RUN AWAY 1, RUN AWAY 2, RUN AWAY 3)
(*INTEG 1/CONTACT 1)
(*INTEG 2/CONTACT 2)
(*INTEG 3/CONTACT 3)
(X2/E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7, E8, E9)
(X2/E10, E11, E12, E13, E14, E15, E16, E17, E18, E19)
(X2+*QHOME, *QSTREET, *QOFFICE)
( )
    
```

表 4.3 変更データの例

Table 4.3 Example of modify data.

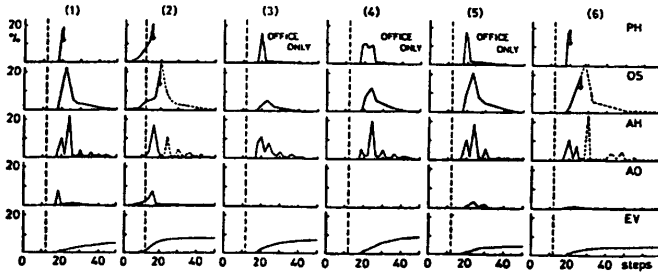


図 11 図 10+図 9 に対するシミュレーションの結果. 警報はステップ 12 で公表される. 矢印は, 機能の崩壊を示す. 点線は, 高い輸送能力をもつ場合に対応する(路上での機能崩壊はない).
 (1) 昼間, 中都市 (2) 昼間で情報漏れ有り, 中都市
 (3) 夜間, 中都市 (4) 休日, 中都市
 (5) 通勤時, 中都市 (6) 昼間, 大都市

Fig. 11 Results of simulation for Fig. 10+Fig. 9. A warning is issued at step 12. Arrows mean the collapse. Dotted lines correspond to the case for high traffic capacity (no collapse on street).
 (1) daytime, medium size city
 (2) daytime and information leak, medium size city
 (3) night, medium size city
 (4) holiday, medium size city
 (5) commutation hour, medium size city
 (6) daytime, large size city

- (B) システムの大きさ (必要とされる時間)

帰宅, 通勤	避難
大都市 (人口 > 10 ⁶) 2 時間	30 分
中都市 (人口 < 10 ⁶) 1 時間	30 分
- (C) 専門家の招集から地震予知情報公表までに要する時間……2 時間
 行政側で非常体制をとるのに要する時間 ……1 時間
- (D) 電話の容量と交通の能力
 電話の容量 (家庭, 会社にいる人の 20%, 路上にいる人の 10%)
 交通の能力……路上にいる人の 20%
- (E) 個人の行動は, 表 3 に従うものとする.

6.3 シミュレーションの結果

図 11 にシミュレーションの結果を示す. ここで単位時間は 10 分である. シミュレーションは, 専門家の招集から始まり, 地震予知情報は 12 ステップ目 (2 時間後) に公表する. 図 11 の中の記号の意味を次に示す.

- PH: 家庭, 路上, 会社にいる人のうち電話をかけた人の割合. 「OFFICE ONLY」は, 会社にいる人のうち電話をかけることができた人の割合.
- OS: 各時間単位に路上にいた人で, 会社に行く人, 帰宅する人, 逃げる人の合計である. 避難した

人は除外してある.

- AH: 各単位時間に帰宅した人.
- AO: 各単位時間に会社に着いた人.
- EV: 避難した人の累積値で, 家庭と路上, 会社から避難した人の合計である.

情報漏れが専門家の招集の段階 (時間 0) に 0.1% の初期接触確率と 40% の伝播確率でおこるとする. 情報漏れは, 最初, 会社に伝わり会社内に広まり, その後, 家庭に伝達されていく. もし伝播確率が 50% になると, 予知情報が公表される前に電話がパンクする.

予知情報が公表された後, 最初のシステム破壊は, 回線麻痺による電話のパンク (特に路上) である. 何故なら路上の公衆電話の数には限りがあり, 大多数の人が電話をかけることができず, その結果, 帰宅行動が始まる. 第 2 番目のシステム破壊は, 予知情報の公表後, 30 分から 1 時間後におきる交通麻痺である.

夜間とか休日の場合には, その他の場合と比較すると混乱が少ない. 個人の行動 (電話をかける, 帰宅する, ……) は制限できない. したがって「家庭—路上—会社」の三つの要素からなる屋型社会システムを, より単純な「家庭—会社」の二要素からなる夜型社会システムに再編成することがシステム・パニックを防ぐための有効な戦略となる. 昼型の社会システムを夜型の社会システムへ再編成する (会社や路上にいる人を家庭に帰す) には, 通常の帰宅に要する時間の 3 倍程度の時間を要する.

大都市では, 電話のパンクと交通麻痺のため, 社会システムの再編成は不可能となる.

中都市では, 社会システムの再編成に 3 時間を要するから, 予知情報は少なくとも 3 時間前に公表されなければならない. さらに地震予知情報を公表するためには, 専門家を招集 (約 1 時間) し, 判定会で決定 (約 1 時間) する必要があるため, 異常現象の検出は, 地震発生の 5~6 時間前に行われている必要がある.

逆に, 再編成された「家庭—会社」システムを長時間維持することは, 現実問題として難しく, 二晩以上持続することは不可能に近いであろう. したがって地震予知情報は, 非常体制の持続時間が最大限 1 日であることを考慮に入れて公表する必要がある.

7. む す び

NESSY-III の開発により, 網構造を持つ因果関係

の動的解析が容易にできるようになり、具体的な応用として「地震予知公表による情報パニックと人間の行動」の解析⁵⁾に適用された。その結果、いろいろな条件（時間帯：昼間、夜間、休日、通勤時、および都市の大きさ：大都市、中都市）のもとでの地震予知情報公表の影響や情報漏れの影響、システム・パニックを防ぐための戦略、地震予知情報公表のタイミング等の解析に役立てられ、NESSY-IIIの有用性が実証された。

ここに開発されたNESSY-IIIを、さらに複雑な現象の解析に適用しようとする、次のような問題点が生じてくる。

1. 解析モデルの部分変更には、二項関係の切断と起動の機能が用意され、解析モデルの変遷過程をシミュレートするには適している。しかし、振動解を持つような現象の解析を行うには、二項関係の切断と起動の機能だけでは十分とはいえない。

2. 網構造内の流れは、遷移確率を用いて表現されたリニア (linear) 型の出力関数に限定されている。ところが、より現実的な流れを表現するためには、遷移確率の他に、何か質的に異なった出力関数を用意する必要がある。

今後の課題は、上記の問題点を解決して、より一般的な現象の解析ができるように、次のような機能の追加および改良を行うことである。

1. 解析モデルの部分変更には、従来の二項関係の切断と起動の機能の他に、休眠と復活の機能を追加することにより、流れの動的な切り換えを可能にし、振動解を持つような現象の解析にも適用できるようにする。

2. 網構造内での流れを表現するのに、これまでの遷移確率によるリニア型の出力関数の他に、パイプの太さの概念に基づく、サチュレート (saturate) 型の出力関数を導入し、より現実的なモデル内の流れを表現できるようにする。

3. 網構造内での情報の流れと物の流れの計算に

は、従来の整数演算にかわって、実数演算を導入する。これにより、整数演算における四捨五入に伴う誤差を少なくし、物の流れについては、より厳密な質量保存則が成り立つようにする。

本研究は、名古屋大学理学部の島津康男教授をリーダーとする「環境学のための情報システム：SMLES-IS」の一環として行った。

参 考 文 献

- 1) 平松敏祐：THEODORES Tree Thesaurus から Net Thesaurus への拡張，昭和52年度情報処理学会第18回全国大会，pp. 293-294 (1977)。
- 2) Hiramatsu, T.: Interactive Net Thesaurus Processing System-NESSY, Memoirs of Research and Development Division, Computation Center, Nagoya University, No. 4, pp. 21-39 (1978)。
- 3) 平松敏祐：網構造を持つ因果関係の解析システム NESSY-I/II, 昭和53年度情報処理学会第19回全国大会，pp. 971-972 (1978)。
- 4) 平松敏祐，福村晃夫：会話型ネット・シソーラス処理システム NESSY-I, 情報処理学会論文誌，Vol. 20, No. 3, pp. 265-271 (1979)。
- 5) 島津康男，平松敏祐：地震災害対策と地震予知公表の RISK ASSESSMENT, 地震，第2輯，第31巻，pp. 147-160 (1978)。
- 6) 平松敏祐：網構造で表現される因果関係の動的解析システム——NESSY-III, 信学技報，AL 78-49, pp. 75-82 (1978)。
- 7) 科学技術庁研究調整局：東海地域における地震予知に関する情報システムについての調査研究中間報告書，p. 388 (1978)。
- 8) Hiramatsu, T.: Dynamic Net Structure Analyzing System of Causal Relations NESSY-III, Memoirs of Research and Development Division, Computation Center, Nagoya University, No. 5, pp. 22-48 (1979)。

(昭和54年6月28日受付)

(昭和55年2月8日採録)