

## IV—20 「F U Z Z Y推論による地域防災診断に関する研究—登別市を例として」

北海道大学大学院環境科学研究科 学生員 中 山 義 光  
北海道大学大学院環境科学研究科 正 員 加賀屋 誠 一  
北海道大学大学院環境科学研究科 正 員 山 村 悦 夫

### 1. はじめに

ある事柄に対して判断をくださなければならない状況に我々がおかれた時、なんらかの情報が我々に必要となってくる。統計的に裏付けされた情報、定量的に表現された情報だけでなく、多分にあいまいさを含んだ情報も必要となってくる。あいまいさを含んだ情報とはなにか。例えば「かなりの雨が明日の朝方降る。」という情報があったとしよう。かなりの雨とは何ミリ程度の降水量であるのか、朝方とは何時から何時を指しているのかなど、はっきりしない点があるが、この情報には含まれている。このような、あまり明確ではない表現を含んだ情報をあいまいさを含んだ情報という。このようなあいまいさを含んだ情報は、あいまいさを含んでいるからといって無価値とみなすべきではない。専門家といわれる人々の行っている判断の大半をあいまいさを含んでいる情報に依存しているのは事実であるし、それで十分な結果がえられている。社会システムや自然現象を統計的に、定量的にすべて把握をしきことは困難である。これらのシステムの把握しきれない部分を、あいまいさを含んだ情報で補っていく必要性が存在する。

### 2. 本研究の目的

本研究の目的は、医師が患者を診察し診断するプロセスを一つの地域を防災診断という形で応用し電算化を意識してモデル化することにある。医師が患者に対して診断を下すプロセスには、もちろん数値データも用いるが、それだけでなく自分自身の経験を用いて患者の病気を探り当て部分がある。本研究においてこのような経験に基づくもの医師が患者を診察し診断していくまでのプロセスをアルゴリズム化し、地域を一つの患者にみたて、防災診断に応用するものである。従来まで取り込むことのできなかったあいまいな情報を積極的に活用した形の推論手法を構築し、具体的にケース・スタディとして登別市の地域防災診断に適用する。

### 3. 対象地域、登別市の概況

登別市は北海道の南東部に位置し北側をオロフレ山系に囲まれ南側に太平洋に面した人口5万8千人（S60）の都市である。登別市のを大別すると火山地帯、台地、平野の三地帯に分けられる。居住地域はその大半が平野部に集中し、漁業基地としての登別地区、市の中心地区として幌別地区、観光地として有名な温泉地区、近年、室蘭市のベッタウンとして開発の進んだ鷺別地区に人口が集中している。

### 4. 登別市の災害

登別の北部、オロフレ山系の東斜面は北海道の中でも比較的降雨量の集中しやすい地域である。そのため、ほぼ1、2年おきごとに大雨災害を登別市にもたらしている。特に登別市の中央部に位置する礼内台地（礼内とはアイヌ民族の言葉で乾いた川を意味しているが、ひとたび強い降雨があると、そこを流れる河川の様相を一変させる特徴がある。）に集中した降雨は中小河川を通して下流地区に流れ込み浸水被害を過去数回もたらしている。

## 5. FUZZY集合とはなにか

あいまいさを表現する方法の一つにFUZZY集合という概念がある。数学では普通取り扱う集合はしかも個々の要素が集合に属しているかないのかを明確にしなければならない。いま「年をとった人」という集合について考えてみよう。80才以上の人を「年をとってる人」と定義してしまうと79才の人は「年をとっていないひと」となる。このように区別すると20才も79才も同等に扱われ、80才と79才が分けて考えなければならないということになる。このような不合理をさけるために、その要素が集合にどれだけの度合で属しているかを度合で表現することが考案された。たとえば80才のひとなら確実に年をとっているので1、40才で0.5、0才で0というようにするわけである。度合とその要素をノ区切って集合の形で表現すると以下ようになる。

年をとっている $= [1/100, 0.8/60, 0.5/40, 0.1/15, 0/0]$

(ここでの1-0の数値は集合への属するその度合であるが、これをメンバーシップとよばれるものである。) 一般的に表現すると以下の様になりこれをFUZZY集合という。

$F = [\mu_F(u_1)/u_1, \mu_F(u_2)/u_2, \dots, \mu_F(u_n)/u_n]$

## 6. 地域診断システムについて

従来までの診断システム、いわゆるエキスパートシステムは「AならばBである。」という形式で、あいまいさを診断にとりいれたとしてもそれは結果にたいして確信値=(どのくらい自信を回答にもてるか)という程度にすぎない。原因の強さの度合や結果の度合という点でのあいまいさを考慮されていなかった。本研究では「原因がこのくらいの程度なら結果はこのくらいの程度になる。」というように原因から結果の程度を考察する診断方式1。「結果としてこの程度生じた。原因はこの程度であろう。その原因がその程度なら他の結果はこの程度であろう」というような一つの結果から原因、その他の結果の程度を診断する方式2を考案した。診断を行ううえで生じてくる矛盾(因果関係の把握不十分さからくるもの、観察の誤差からくるもの)を想定してできるかぎり矛盾を小さくするために以下の仮定及び条件を設定した(下記1-9)。また本研究に使用したメンバーシップ関数は過去の登別市災害報告書(S40-S58)及び新聞記事より過去の災害を再現できるよう作成した。主な診断方式ルールに関して登別市の災害を例として説明を加えていく

1. 原因Aと因果関係 $R_{AB}$ 、結果B、要素を右図のように表現することにする。

要素とは直接原因とはならないが原因が生じた時、影響を及ぼすもので因果関係の中に含まれるもの定義する。

先に挙げた診断方式1、2について登別市の災害を例としながら説明を加えていく。

診断方式1: 例。岡志別川の大規模な氾濫は中央町に400世帯前後に及ぶ浸水被害をもたらし、かつ千歳町に110世帯前後の浸水被害を及ぼす。右図6-1.1

診断方式2: 例。いま千歳町に110世帯前後に及ぶ浸水被害があった。岡志別川は大規模な氾濫をしたに違いない。ならば中央町は少なくとも400世帯前後の浸水被害であろう。右図6-1.2

2. 原因の強さの程度を次の様に1-0のメンバー

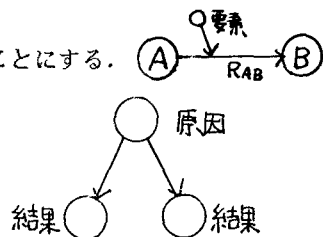


図6-1.1 診断方式1の例

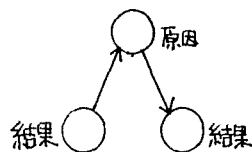


図6-1.2 診断方式2の例

例．礼内地区のかなりの降雨＝[1/500mm,0.8/400mm,0.6/300,0.4/200,0.2/100,0/0]（総雨量）  
同様に結果の強さの程度を1－0のメンバーシップ関数で表現する．

例．中央町の浸水被害＝[1/400setai,0.8/300setai,0.4/160setai,0.05/su setai,]

3.原因から結果を推論するとき（但し，原因と結果が1対1の時）

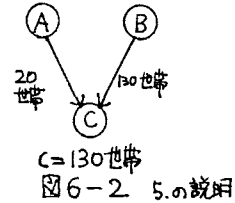
礼内地区の大量の降雨0.4-0.6の時，岡志別川の氾濫危険性は0.1-0.4である．

4. 結果から原因も推論するとき（但し，原因と結果が1対1の時）

例．岡志別川の氾濫0.1-0.4の時礼内地区の総降水量は0.4-0.6

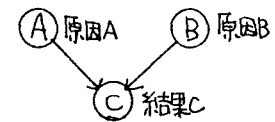
5. 原因が複数考えられ結果が一つのときはそれぞれの原因の与える結果のなかでの最も大ききものが結果として現れるとする

例．強風による高波は幌別町の20世帯前後の浸水被害(0.8-0.5)をもたらす．また岡志別川の大規模氾濫(0.8-1)は幌別町に130世帯前後(1-0.8)の浸水被害をもたらす．もし岡志別川の大規模氾濫と高波が同時に生じても幌別町の被害程度は大きい方(1-0.8)を選択する．右図6-2参照

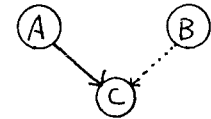


6. 結果が一つで複数の原因が考えられる時，結果より原因の度合を推論する場合．それぞれの原因の程度の最大値は，えられた結果の程度の最大値を与える値．各原因の程度の最小値は0とする．

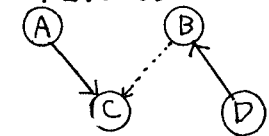
例．幌別町に20世帯前後の浸水被害があったとすると．考えられる原因として強風25m前後(0.8-0.5)による高波災害，もしくは幌別地区の総降水量200mm-100mm(0.2-0.4)の2つの原因が考えられる．原因として風速は25m-0(0.8-0)，幌別地区の降水量は200-0mm(0.4-0)の範囲をとりうる．つまりどちらか一方が0でもかまわない．しかし，どちらかは条件（20世帯前後の浸水）を満たさなければならぬ．もし幌別地区の総降水量が他の結果から10mm-50mmという情報がえられたとき，幌別地区のその総降水量では幌別町20世帯前後の浸水被害を生じさせないから，25m前後の強風が吹いたと考える．（複数原因と一つ結果の場合，他の原因がその結果を与えることができない場合，残り一つの原因がその結果を与えていることになる．原因が結果の条件をすべて満たさない時は結果に対して最大値を与えるものとする．ただしすべての原因が結果をみだすことができない場合は最大の結果を与えるものを原因とする）右図6-3参照



今，結果Cを得た．  
原因の程度を推論する



どちらか一方がCを与えれば結果Cは生じる．だから原因A,Bのどちらの最小値は0となる



いま他の結果DよりBの範囲が推論され，その範囲が結果Cを，与えることができれば自動的に原因Aが結果Cを与えたことになる．

図6-3 6.の説明

7. 複数の結果から原因の程度を類推する場合，

それぞれの結果より1の手順で原因の程度の範囲を推論する．各々の結果より推理した範囲の中でそれぞれを満たす範囲を特定する．つまり原因の範囲の各最大値の最小値をとり，原因の範囲を最小値の中で最大値をとる

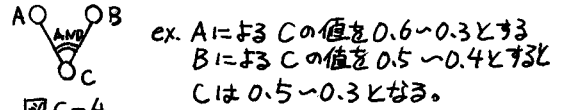
8. 原因が1－0の範囲であるという情報は，全く分からない状態と同じことである．

9. 原因または要素を、いくつか伴って生じなければ、結果が生じないとき。

それぞれから予測した結果の小さいものを選択する。

例. 札内地区の氾濫の規模(1-0.8)は時間降雨による氾濫危険性(1-0.8)と総降水量による氾濫危険性(1-0.8)を同時に満たしたとき生じる。

右図6-4のように表記する。



7. 登別市幌別地区について防災診断モデル。

図6-4

図7-1にその災害構造を示した。構造について説明する。災害の独立した原因として、強風による高波災害、幌別地区及び札内地区の総降雨量、時間降雨量。札内地区の時間降雨と総降雨量は岡志別川、サト岡志別川の危険性を増大させ、氾濫規模を決定する。幌別地区に大量の降雨、強風による高波災害、岡志別川サト岡志別川の氾濫は幌別町に浸水被害をもたらす。岡志別川、サト岡志別川の氾濫、幌別地区の大量の降水量は中央町に浸水被害をもたらす。岡志別川、サト岡志別川の氾濫は千歳町に浸水被害をもたらす。幌別地区の総降雨量の時間降雨量は片倉町の地滑り災害の危険性をもたらす。それぞれの因果関係を表1-表5、グラフ1-グラフ6に示した。

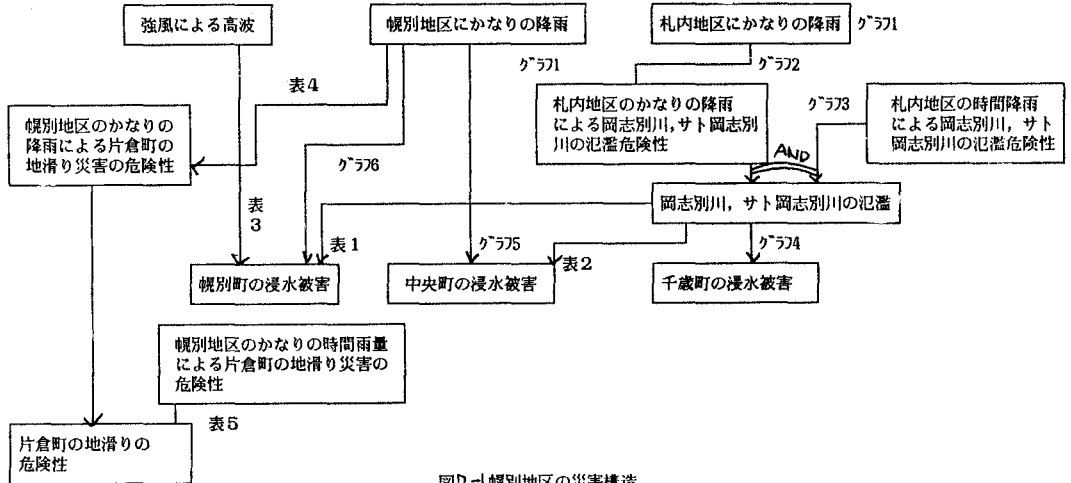


図7-1 幌別地区の災害構造

表1, 岡志別川の氾濫規模と幌別町の浸水被害およびメンバ-シップ値

| 氾濫規模      | 幌別町の被害  | メンバ-シップ° |
|-----------|---------|----------|
| 氾濫規模0.8以下 | 被害なし    | 0        |
| 氾濫規模0.8-1 | 130世帯前後 | 0.8-1    |

表2, 岡志別川の氾濫規模と中央町の浸水被害

| 氾濫規模      | 中央町の被害  | メンバ-シップ° |
|-----------|---------|----------|
| 氾濫規模0.8以下 | 被害なし    | 0        |
| 氾濫規模0.8-1 | 400世帯前後 | 0.8-1    |

表3, 風速と幌別町の浸水規模およびそのメンバ-シップ値

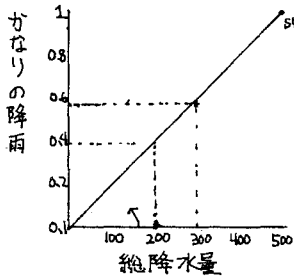
| 風速     | 被害規模      | メンバ-シップ° |
|--------|-----------|----------|
| 25m以上  | 20世帯以上の被害 | 1-0.8    |
| 15-25m | 20世帯前後の被害 | 0.8-0.5  |
| 15-10m | 注意を要する。   | 0.5-0.3  |

表4, 幌別地区の降雨量と片倉町の地滑り災害の危険度とそのメンバ-シップ°値

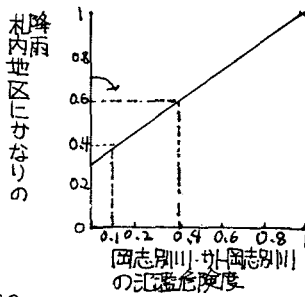
| 幌別地区の総降雨量 | 地滑り危険度   | メンバ-シップ° |
|-----------|----------|----------|
| 250-300mm | 非常に危険である | 1-0.8    |
| 200-250mm | 危険である    | 0.8-0.6  |
| 150-200mm | 注意要する    | 0.6-0.3  |
| 100-150mm | 大丈夫      | 0.3-0    |

表5, 幌別地区の時間降雨料と片倉町の地滑り危険度とそのメンバ-シップ°値

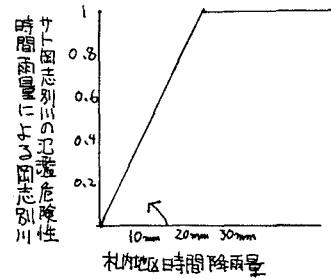
| 幌別地区の時間降雨量 | 地滑り危険度   | メンバ-シップ° |
|------------|----------|----------|
| 25mm-      | 非常に危険である | 1-0.8    |
| 20-25mm    | 危険である    | 0.8-0.6  |
| 15-20mm    | 注意要する    | 0.6-0.3  |
| -15mm      | 大丈夫      | 0.3-0    |



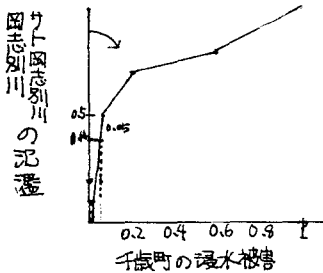
グラフ1 総降水量とかなりの降雨との関係



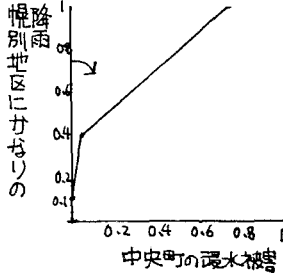
グラフ2 原因：札幌地区にかなりの降雨  
結果：岡志別川、サト岡志別川の氾濫危険性



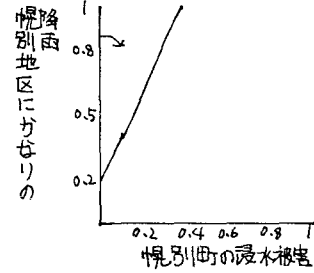
グラフ3：原因 札幌地区の時間雨量  
結果 岡志別川・サト岡志別川の氾濫危険性



グラフ4 原因：岡志別川、サト岡志別川の氾濫  
結果：千歳町に浸水被害  
程度：～0.05以下は数世帯の被害  
：それ以外はメンバーシップ×110  
＝被害世帯数



グラフ5 原因：幌別地区にかなりの降雨  
結果：中央町に浸水被害  
程度：～0.05以下は数世帯の被害  
：それ以外はメンバーシップ×400  
＝被害世帯数



グラフ6 原因：幌別地区にかなりの降雨  
結果：幌別町の浸水被害  
程度：～0.1までは数世帯の被害  
メンバーシップ×130  
＝被害世帯数

以下の規模の災害を想定し診断した。

幌別地区に200mm-300mmに総降水量(0.4-0.6)  
札幌地区に200mm-300mmの総降水量(0.4-0.6)  
風速は15m以下：時間降水量、最大25mm

診断結果は以下の通りである。(対話形式をとり)

岡志別川の氾濫による幌別町の浸水規模は？

答え. よって岡志別川は 規模0.1-0.4で氾濫するが幌別町には影響しない。(表1より)

幌別地区の降雨量による幌別町の浸水規模は？

答え. 20世帯の被害が予想される。(グラフ6より)

強風による高波の影響は？(表3より)

答え. 注意を要する程度.

よって幌別町の浸水規模は20世帯程度の浸水被害である。(条件5より)

岡志別川氾濫による中央町の浸水被害？(表1より)

答え. 影響なし

幌別地区の降雨による中央町の浸水被害は？(0.4-0.6)

答え．20-120世帯程度の浸水被害予想される．(ｸﾞﾗﾌ5より)

よって中央町は20-120世帯程度の浸水被害

岡志別川の氾濫による千歳町の浸水被害は？

答え．数世帯程度の浸水被害(ｸﾞﾗﾌ4より)

よって千歳町の浸水被害は数世帯程度浸水被害と予想される．

片倉町の斜面災害の危険性？

答え．かなり危険である．少なくとも危険である．(ｸﾞﾗﾌ4.5より)

以上のとおりである．

昭和56年の災害状況と診断結果と照合した．

幌別202ミリ，札内283ミリ，時間雨量最大(幌別)25mm

浸水世帯数：幌別町17世帯，中央町17世帯，千歳町19世帯

片倉町に土砂災害なし，ただし常盤町，美園町で災害発生

以上の結果より，ほぼ診断結果は妥当な範囲と考えられよう．

## 8．結論

(1)診断モデルに災害の発生状態を変化させることによって各地区の災害シミュレーションを行うことが可能となった．これによって被害を予測でき災害対策に有効な情報がえられる．また一般市民でも自分の住んでいる周辺部の状況データを入力することによって行政機関よりも先に生じうる災害を察知することができる．

(2)この手法の根本的な考え方は，情報が不十分な環境のなかで情報の質や精度，理論的精密さに欠けていても，とにかくシステム全体を把握し少しでも多くの情報を活用しようということであり，また情報の質の高いデータがえられたならば，その部分を修正していくということである．全体のシステムを構成する小システムの中で確実に把握できる部分は，順次置き換えていけばよいのである．例えばシステムダイナミックスなどで把握できる部分)

(3)診断モデルをより高い専門家レベルにするためにはメンバーシップ関数の妥当性に十分注意することが必要である．今後どのように妥当性を持たせていくかが重要な課題の一つである．メンバーシップ関数の決定主体に関していえば多数の専門家，あるいは特定の専門家，あるいは行政，市民などが考えられ，また決定方法に関してはブレインストーミングなどが挙げられる．

(4)システムダイナミックスにDYNAMOというプログラミング言語が存在するように，本手法にも新しいプログラミング言語の開発が必要とされる．今後，研究を進めていく所存である．

最後に，登別市市役所の皆さんには資料の提供，アンケート調査等，多大なご協力を頂いた．ここに謝意を表する次第である

## 参考文献

[1] 村山 雄二郎，寺野 寿郎 「あいまい論理を用いた異常診断」，システムと制御，第24巻，111号(1980)

[2] 寺野 寿郎 「あいまい工学のすすめ」，講談社