

第3章 エキスパートシステムの気象予測への利用

3.1 はじめに

(1) 人工知能とエキスパートシステム

人間の思考、認識、理解や創造などの知的能力の本質を解明して、人工的に模倣しようとして発達した学問に人工知能がある。研究の一つの手段として、計算機を用いて模擬的に知的能力を解明することが試みられた。

その後人間の知的能力の内、知識を重視して計算機上に知識を表現・利用する知識情報処理と呼ばれる技術が提案された。特に、専門家の知識を利用することにより、効率的な計算機処理が可能になった。これがエキスパートシステムの始まりである。第1図にエキスパートシステムの概略図を示す。本節ではエキスパートシステムがどのようなものであるかを示す。

(2) エキスパートシステムの定義

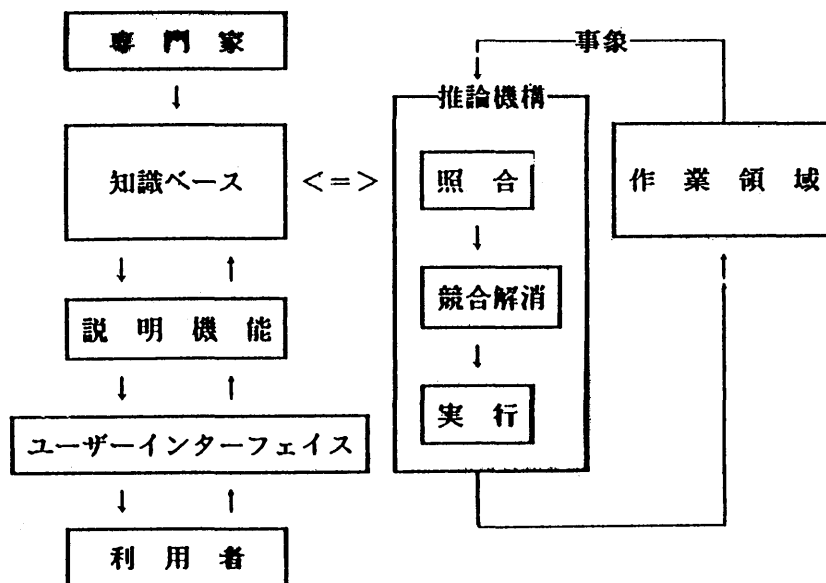
Hart(1989)はエキスパートシステムの定義として、Welbank(1983)の唱えた次の説が代表的であると言っている。

エキスパートシステムとは、ある限定された領域に関する広範な知識ベースを持ち、人間の専門家が行うような職務を遂行できるだけの複雑な推論機構を有したプログラムのことである。

この定義で重要なことは

- ①対象領域の選択
- ②専門家の広範な知識をどのように獲得・整理して、知識のデータベース(知識ベース)を作成するか?
- ③専門家のような推論をどのようにして行うか?

である。言い換えると、精度の高い知識が存在する領域を対象として選び、その領域の専門家から知識を獲得して知識ベースを作成し、利用することにより精度の高い推論をすることを意味している。しかし、対象とする領域の専門



第1図 エキスパートシステムの概略図

家から精度の高い情報を如何に得るか、またそれらの知識を如何に整理・利用するかが知識ベースの作成の成功に影響する。

(3) 知識ベースの構成

a) 知識表現

知識を①式に示す形式のルールと呼ばれる最小単位で表現する。

$$\text{IF } a \quad \text{THEN } x \quad \text{cf} \tag{①}$$

ここで、 a : ルールの条件部

x : ルールの実行部

cf : ルールの信頼度

*尚、本文では簡略化のため、ルールを a : x と表現する。

b) 知識群

いくつかの知識の集まりを知識群（ルール群）と言う。知識群の集まりが知識ベースである。知識群の並べ方も、次に述べる知識の並べ方に準じて行う。

c) 知識群内の知識の並べ方

個々のルールを並べて知識群を作成する。並べ方には次の3つの方法がある。

①単純並列型：

単純にルールを並べる方法で、順序を問わない方法。

②連鎖型：

概念の大きさや包含性に関わらず関連している知識を連鎖させる方法。

③木構造型：

概念や包含性の大きいルールから順に樹状に並べる方法。後で小泉(1995)の示す洗練化が利用しやすいように、できるだけ木構造で表現するのが望ましい。

(4) 推論機構

a) プロダクションシステムによる推論：三段論法を基礎とした推論である。

$$\text{IF } a \quad \text{THEN } b \tag{②}$$

$$\text{IF } b \quad \text{THEN } c \tag{③}$$

これにより、aが「真」の時、cは「真」である。

b) 分岐木による推論：

木構造を順に辿っていき、行き着いた葉の部分が「解」である推論。後述するように情報量が小さくなるように分岐・推論が行われる方法。

c) 信頼度による推論：

信頼度の最も大きなルールの組み合わせが選択・推論される方法。

(5) 気象予測への利用の課題とエキスパートシステムの客観化

a) 気象予測へのエキスパートシステムの利用と課題

気象予測のためのエキスパートシステムを構築するには、専門家（エキスパート）である予報官から知識を抽出・整理して利用しなければならない。予報官は非常に有用な知識を保有しているが断片的で単純な構造の知識から現象

を全体的に理解しようとする複雑な知識まで種々の段階の知識がある。近年予報官の知識や彼らの行った調査結果を整理して知識ベースの元となる概念モデルを作成する試みが広く行われている。そこで概念モデルをエキスパートシステムに表現することを試みた。

しかし予報官の考える概念モデルは複雑であり、全てをシステム化するのは非効率で、現在のパターン認識技術や人工知能技術では対応困難な面があり、簡略化や定量化が必要である。

b) 客観的エキスパートシステムの開発

専門家の知識の集大成である概念モデルのシステム化に当たっては、専門家の主観的知識を定量的に表現し、それらを組み合わせて客観的エキスパートシステムに構築する必要がある、開発には概ね次の手順が必要である。

- ①概念モデルを主観的・経験的知識に基づいて、木構造で表現する。各知識は定性的な表現のままでも良く、木構造に表現できる場合は直接④に進む。一般には定性的知識では木構造を作成するのは困難なので②に進む。
- ②定性的な表現のルールの特徴部の閾値や確信度をデータから客観的に決定する。
- ③各ルールを情報量に基づいて、木構造に表現する。
- ④木構造のルール群をニューラルネットワークに変換し、新たなデータを取り込んで学習し、閾値の洗練化を図る。

専門家により①の概念モデルの木構造への表現ができれば、直ちにニューラルネットワークに変換して実際のデータによる学習をさせることにより、客観的エキスパートシステムを作成できる。概念モデルを木構造に表現するのは簡単ではない。困難な場合は②に進む。②以降の作業はすべて客観的手法によって行われる。

第2図は、予報官や調査結果からの定性的な知識を整理して知識ベースの元となる概念モデルを作成し、その概念モデルを計算機上のプログラムであるエキスパートシステムとして表現したもので、①の部分に該当する。定量的な気象予測システムを作成するためには、さらに②、③、④の順に作業を進め、客観化・洗練化を計る必要がある。

主観的な知識を統計的な手法により客観化を計り、さらにニューロネットワークを用いて洗練化する技術を組み合わせた客観的なエキスパートシステムの構築手法は簡便であり、客観的に作成できる面からも将来性があると考えられる。

以下では①の現象の選択から概念モデルの作成の主観的手法と②、③、④の客観的手法に大別して記述されているが、知識を整理する主観的作業の方が時間と労力を多く要するので、量的に多く記述されている。

3.2 対象領域の選択

(1) 気象予測の課題

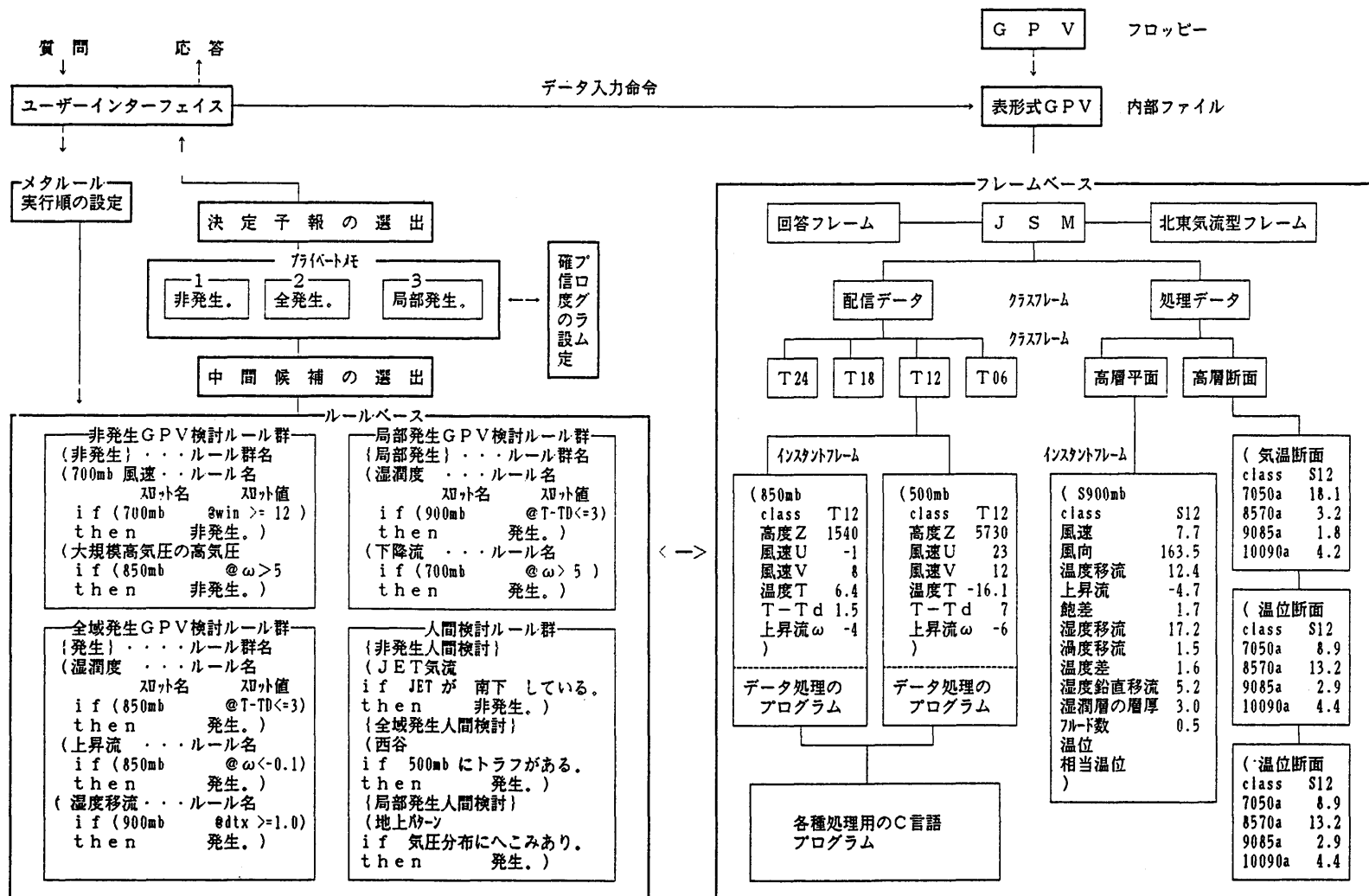
一般にエキスパートシステムにふさわしい課題は以下の三条件を満足する必要がある。

- ①担当者である専門家が課題に関する解決のための知識を有していること。
- ②専門家の知識が比較的簡単に抽出可能であること。
- ③対象の解が物理的又は化学的数式で導出困難か、或いは可能であっても経済的コストが非常に大きくなる可能性の大きい課題（一般に悪構造「ill-structure」の課題と呼ばれる）であること。

このような条件から見て、我々の気象予測の分野ではどのような対象がエキスパートシステムにふさわしいかを考えてみたい。

大気中には総観規模現象から中・小規模現象まで、種々の規模の現象が混在して各地の気象を支配している。そのうち総観規模現象に関しては理解が進み、その予測は数値的にかかなりの精度で数値予報や各種のガイダンスとして示され、予測の中心的資料となっている。また総観規模現象の予測は現場にも知識が多くあり、①や②の条件は満足しているが、すでに数値予報が行われているので③の条件に当てはまらず、エキスパートシステムとしてはふさわしくない。

エキスパートシステムの構造



第2図 気象予測のためのエキスパートシステムの構成図

中規模現象はまだ気象学的理解が十分でなく、ライフタイムが短いので予測可能時間も短く、技術的に困難な問題が多いので③の条件には当てはまる。小規模現象はライフタイムが非常に短く予測対象として現段階で取り上げるのには困難が多すぎるので、中規模現象を主体に取り上げたい。中規模現象も①や②の条件を満足する知識の抽出・獲得には問題があるが、近年研究が進んできているので、知識の獲得に工夫を講ずればエキスパートシステムとしてふさわしい対象領域となる可能性がある。

(2) 中規模現象の予測について

中規模現象の予測にはスケールに応じて種々の予測方法があるが、それぞれ長所と短所があり、すべての現象に万能な方法は確立されていない。第3図に中規模現象の予測に関する予測手段の有効性と予測時間との関係についての概念図を示す。

中規模現象は全般に持続時間が短いので、二宮(1991)の指摘するように予測に費やす時間をできるだけ圧縮しなければ予測の有効性がなくなってしまう。現象の線形補外による予測は簡便で他の方法に比べ精度が比較的高い実用的な予測手法であるが、3時間以内の短時間予報のみに有効である。3時間を超える予測にはメソスケールの数値予報が原理的には最も有望であり今後の発展が期待される。

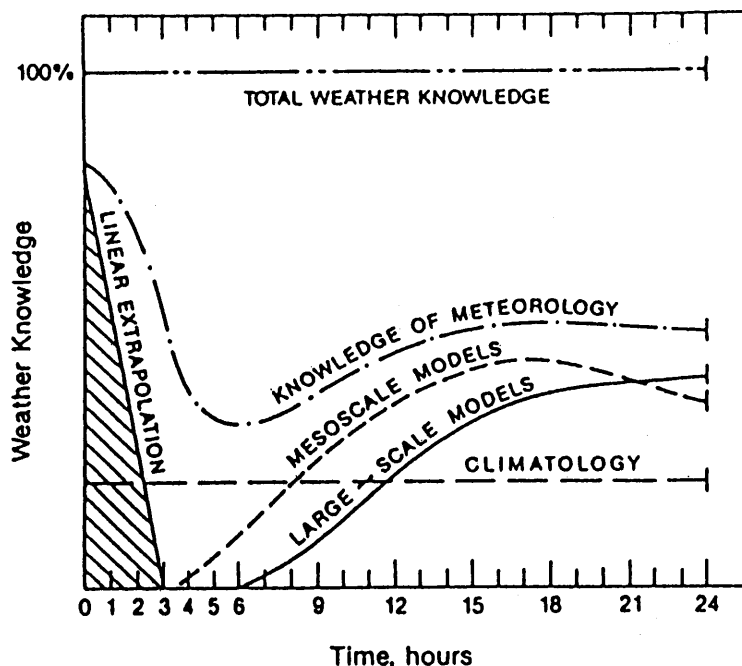
中規模現象は発生原因から

①地形に強制されて発生する型

②地形と関係なく自由に発生する型

に分類される。①の地形強制型の現象でも地形に②の効果が混合したものや周辺の総観規模場に関連するものなども多い。逆に②の自由型と見られる現象でもほとんどが地形や総観規模場と深い関わりをもっていることが分かってきた。

第4図に平成2年から6年の5年間に全国予報技術検討会で検討された日本周辺に見られる中規模現象のうち気温を主とする例を示す。これらの現象の内、いくつかの現象について知識を整理して概念モデルが作成された。



第3図 メソスケール現象の予測に関する予測手段の有効性と予測時間との関係

3.3 中規模気象現象の予測知識の獲得と整理の方法について

3.3.1 はじめに

(1) 知識の獲得方法について

対象領域が選択されると、次にその領域に関する知識を獲得しなければならない。知識の獲得には

- ① 専門家である予報官から知識を獲得する方法
- ② 過去の調査や文献から知識を獲得する方法。
- ③ 気象データから学習により、客観的に知識を獲得する方法

の3つの方法がある。

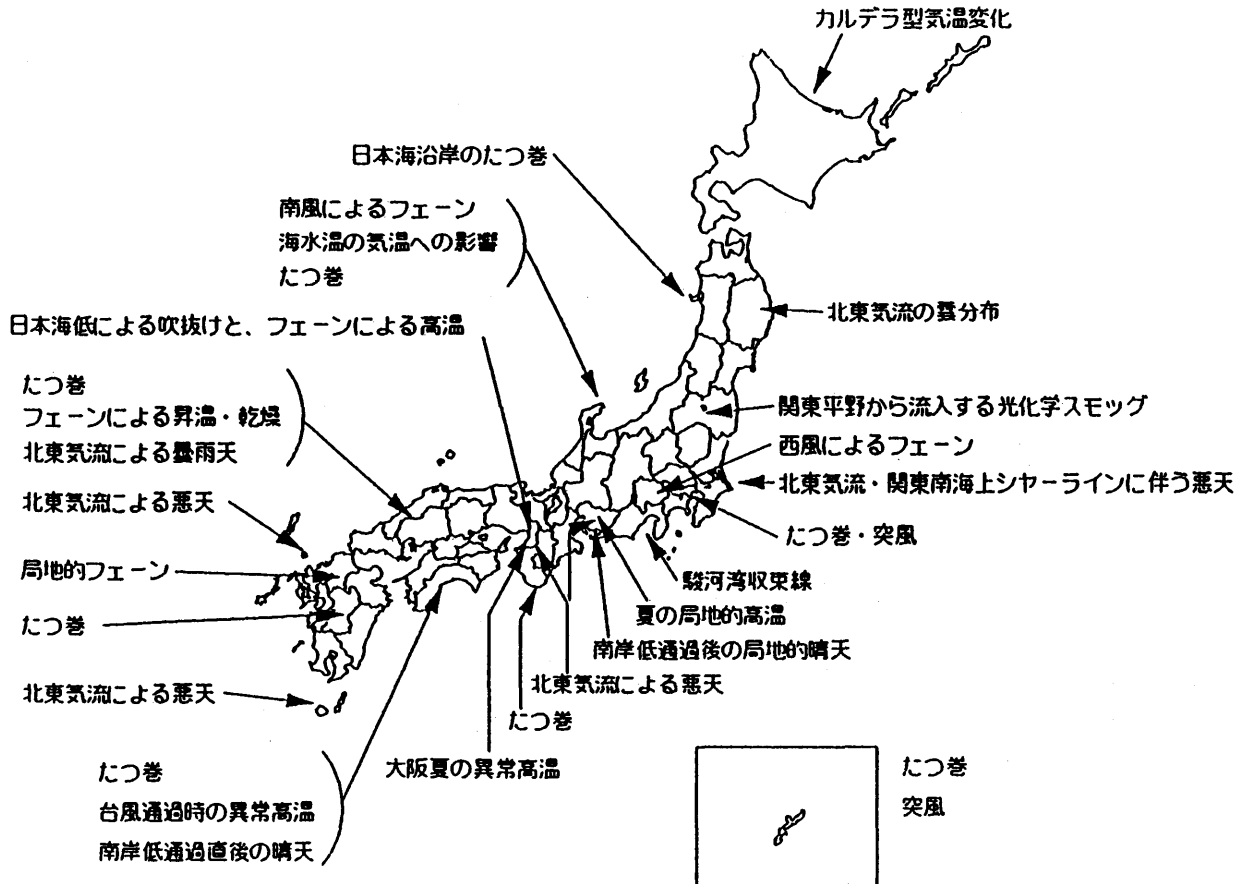
(2) 獲得知識の整理について

獲得知識の整理には次の4種の方法が考えられる。

- ① 個々の知識を羅列的にならべる方法
- ② 個々の知識をグループ分けする方法
- ③ 多くの事例から概念モデルを構築する方法
- ④ 学習により客観的に獲得した知識を客観的に整理する方法

3.3.2 予報官からの知識の獲得と整理の方法

本来、エキスパートシステムは専門家から知識を獲得して作成するものである。気象予測の分野の専門家は予報官である。シビア現象を始め種々の中規模現象の予測には人による主観的監視や予測が有効であると言われているが、



第4図 気温を主とする各地のメソ現象例

第1表 予報官の予報とエキスパートシステム (ES) の相関係数の比較。
優秀な予報官ほどシビアーな現象に強い。

全てのひょうの相関係数			大きなひょうの相関係数		
氏名	予報官	ES	氏名	予報官	ES
A	0.48	0.38	A	0.46	0.41
E	0.47		B	0.40	
D	0.45		F	0.36	
B	0.43		G	0.34	
C	0.42		E	0.30	
G	0.39		D	0.30	
F	0.35		C	0.27	

主観的監視や予測に当たる予報官の知識や技術について検討する必要がある。

予報官の知識を利用するためには、予報官が予測に役立つ専門的知識を真の意味で有しているかが問題である。Stewart他(1989)は多くの予報官の協力を得て予報官による電をもたらしシビアー現象の予報のテストを行い、各予報官の予測技術の優劣を比較・評価した。その結果、第1表に示すように優秀な予報官とそうではない予報官の予測技術に大きな差があること、又優秀な予報官の予測には一貫性があることが示された。

一般に、予報官の知識は経験的知識と学術的知識に大別される。経験的知識は過去に経験した事例に基づくもので定性的な知識が多く、定量的な表現は困難である。又彼らの有する学術的知識は本来体系付けられたものであるが、実際の予報作業時に細部に渡って学術的知識を利用するのは時間的に困難である。このような状況では予報官からのインタビューや予報官の作業の解析から知識ベースを作成するのは大変な困難が予測される。また現状は人事異動などの影響で優秀な専門家が育ちにくい環境にあり、優秀な予報官を探し出し、知識を抽出するのは非常に困難である。

また、アメリカの予報官はシビアー現象のような中規模気象現象の予測経験が豊富であるが、日本の予報官はこれまで総観規模擾乱に伴う広域的予測に重点を置き、中規模現象の予測に取り組んだ経験が少ない。しかし、予報官は定性的であるが知識を有しているので、知識の獲得は可能である。

現状では知識の整理の形としては並列型が主であるが、分岐木のようなグループ分けした整理法が望ましい。

3.3.3 気象の文献からの知識の獲得と整理の方法

予報の現場では以前から多くの調査や研究が行われ、調査結果は事例解析として報告されてきた。しかし、事例解析は予測に用いる場合、同じ状況が再現されることはないので利用には工夫が必要である。気象学では近年このような事例解析を整理して予測に用いる目的で概念モデルを作成しようとする動きが出てきた。

総観規模現象の予測に低・高気圧や前線概念モデルが用いられているように、中規模現象の予測にもふさわしい概念モデルを作成して利用しようとする考えがここ10年来提唱されている。

Browning(1985)は「conceptual model (概念モデル)」について、満たすべき次の6条件を示した。

- ①通常の観測手段で特定できること。
- ②ライフサイクルが示されていること。

- ③発達・衰弱の要因が理解されていること。
- ④構造が明らかになっていること。
- ⑤発生を判断する手掛かりが得られていること。
- ⑥移動の指標が与えられていること。

二宮(1991)は予報官による主観的監視・予測には概念モデルの形に集約された知識に基づいたパターン認識の役割が最も重要であると指摘している。また、饒村(1991)、檜尾(1991)はメソ概念モデルの量的予報への利用の可能性を示唆した。

二宮(1991)は概念モデルを「気象現象の総合的特徴を単純化・抽象化し、象徴的概念図に集約した知識」と呼び、多くの事例研究や経験的知識、現象を理解するに足る物理的知識などの統合的集約のエッセンスとしてまとめられたものと述べている。

総観規模現象に関する概念モデルとしては「極前線と低気圧」が有名であるが、中規模現象の概念モデルとしては米国のスーパーセルの雷雲が良く知られている。

これらのメソ天気系概念モデルにも、現象の発生前、発生時、最盛期、消滅期の各ステージのみを記述するものから現象の発生から消滅までのライフサイクル全体や周辺の間との関連まで共に表現するものまで、いろいろな種類や段階のものがある。

檜尾(1992)は中規模現象を概念モデルに表現するに当たり、メカニズムの重要性を強調し、概念モデルを次のような5段階で考えることを提案した。

第I段階：単一の観測量を統計的に分類し、ライフサイクルや移動型は明らかにされているが、他の気象要素との関連が不明の段階。衛星の雲画像の分類やレーダによる特徴的な降水型の分類などが含まれる。

第II段階：雲や雨域等のパターンと気温や風等の気象要素との関連が明らかにされているが、関連する大気塊の成因について確認されていない段階。例えば降水域と地形的な風の収束線との関連のモデルで、収束線の成因が不明の段階が相当する。

第III段階：大気塊の成因について理解されているが、定性的に止まっている段階。

第IV段階：第III段階を構成する大気塊の一部について各物理量との関連が理論的・定量的に理解されている段階。

第V段階：構成する大気塊すべてについて第IV段階が完成している理想的な段階。

高段階のモデル程良いモデルと言えるが、鈴木(1991)は良い概念モデルを作成するためによく知られた、出現頻度の高い現象を選ぶことを薦めている。よく知られた現象は経験則が得られやすく、出現頻度の高い現象はデータが豊富なので統計処理がしやすいためである。また、過去の調査をよく整理することも薦めている。調査により解明されている点や、まだ解明されていない点を把握する。統計的調査により現象の平均的な姿を捕らえると共に、事例解析を集めて典型例を選び、ライフサイクル毎に周囲の総観規模場や中規模現象内の構造や変化を明らかにすることにより、当面目標とする第II～III段階の概念モデルが作成できること、及びその概念モデルの備えるべき要件として次の3条件を示した。

- ①ライフサイクルを示す。
- ②各種データの解析結果相互の関連を示す。
- ③大気の物理量を数値で記述するように心掛ける。

ここでは関東地方で良く問題となる北東気流についての概念モデルを取り上げ、そのエキスパートシステム化の試みを検証し、考察を行うことにより問題点を明らかにしたい。

3.4 北東気流の概念モデルについて

3.4.1 北東気流の概要

北東気流の現象は「関東の北に高気圧が位置し、北東風が吹き、曇天で、気温が平年より低くなって降水の起こりやすい現象」として古くから予報の現場では知られていたが、実態の把握があいまいな状況が永く続いていた。しかし近年、真島(1980)、櫃間・成川(1980)、長谷川(1982)、山岸(1983)、岩瀬(1985)等、多くの調査が続けてなされ、発現時の総観場は寒気移流場であり、高気圧の北偏に伴う不安定現象で、中部山岳を分流・迂回後再合流する気塊による雲形成メカニズムがもたらす現象であることが明らかになってきたが、“北東気流の現象の立ち上がりの早さや相当な降水をもたらす”などの現場における実感とは差があった。加藤(1983)は下層の中小規模の雲域が上層のトラフに伴う上層雲の接近による相互作用により変質・急発達して中規模現象の発達に相当する上昇流を呈することを示し、地形性の収束による雲域だけでなく総観場の影響による雲域も存在することを示した。また北東気流の現象は形態よりメカニズムの研究の方が先行したために、実像が掴めないジレンマの状態が続いた。鈴木・安東(1992)は気象衛星と高層観測のデータを用いて、北東気流に特徴的な雲域パターンをN型、U型、K型、A型、O型の5パターンに分類し、それらの構造も調べた。彼らの研究により北東気流の現象が概念の中だけでなく、雲域が形として把握されイメージが実感されるようになった。

一方北村(1990)は悪天の広がる領域から、

- ①北海道から関東地方にかけての広範囲型（「ヤマセ」）
- ②関東地方中心に広がる型
- ③沿岸、内陸それぞれ小規模に局在する型

のように分類した。以下ではそれぞれのパターン別に、加藤(1983)の分類に従い、構造やメカニズムについて検討が行われる。

3.4.2 北東気流の構造やメカニズム

(1) 上層トラフの影響を受けなかった雲域の構造

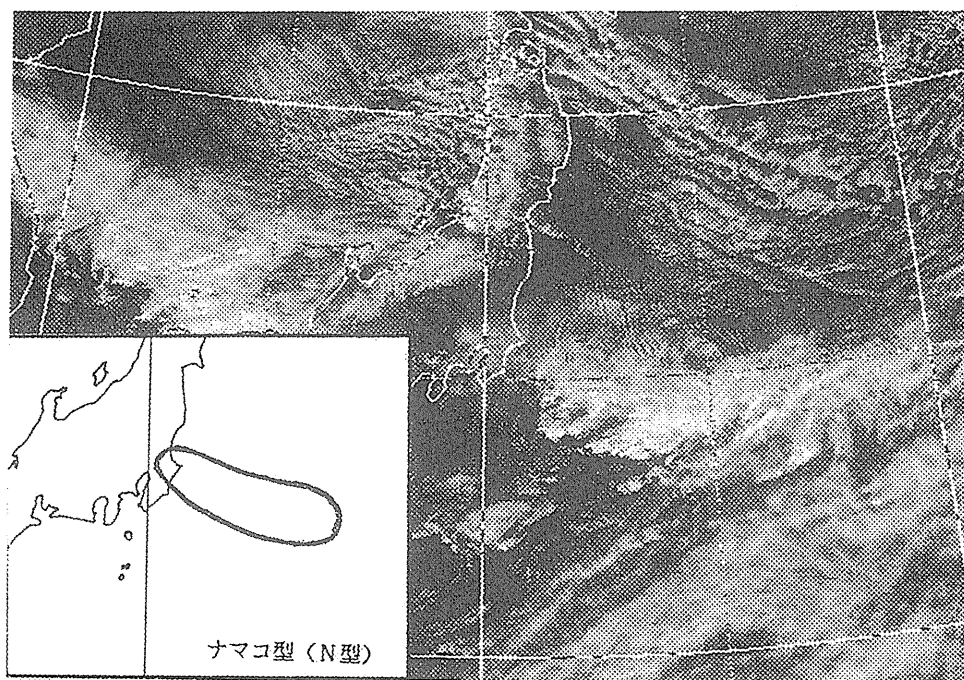
冬型気圧配置が弱まり北西風も弱まってくると、中部山岳を北回りして北東風となって関東南岸に達した気塊と中部山岳を南回りに分流して西風となった気塊が駿河湾沖付近で再び合流して収束することにより発生する。第5図に示す雲域が典型的であるが、構造的な特徴は次の通りである。

- * 雲の南縁は西風と北東風のシャーラインと一致している。
- * 800hPaより上層では西～北西風が吹き寒気移流である。
- * 800～900hPa付近に安定層が存在する。
- * 安定層より下では雲域内で湿度60%以上の湿潤層である。

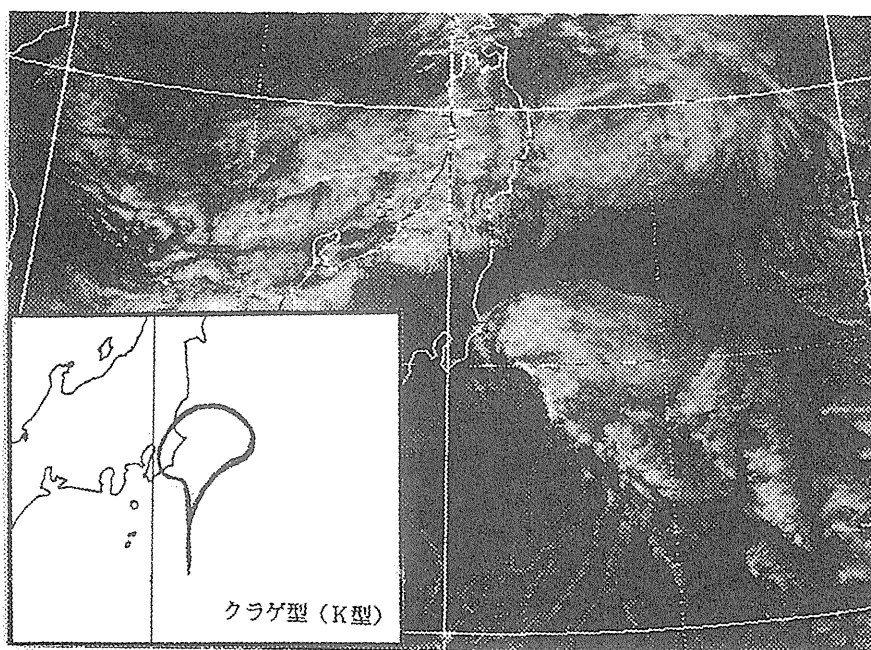
(2) 上層トラフの影響を受けた雲域の構造

トラフの動きに呼応して発達しながら北東進する。第6図に示す雲域が典型的で、さらに入田・土井(1993)による雲域内の中規模小低気圧の発生、また関東地方周辺の収束線と結びついて発達する降水をもたらす現象が含まれる。構造的な特徴は次の通りである。

- * 雲の西縁では東よりの風と南西風とのシャーラインが見られる。
- * 700hPa以下の層が暖気移流になっている。
- * 湿潤層が厚くなる。
- * 発達時に上層雲が接近する。
- * 500hPaの渦度が接近する。



第5図 上層トラフの影響を受けなかった雲域



第6図 上層トラフの影響を受けた雲域

3.4.3 北東気流のシミュレーション

(1) シミュレーションについて

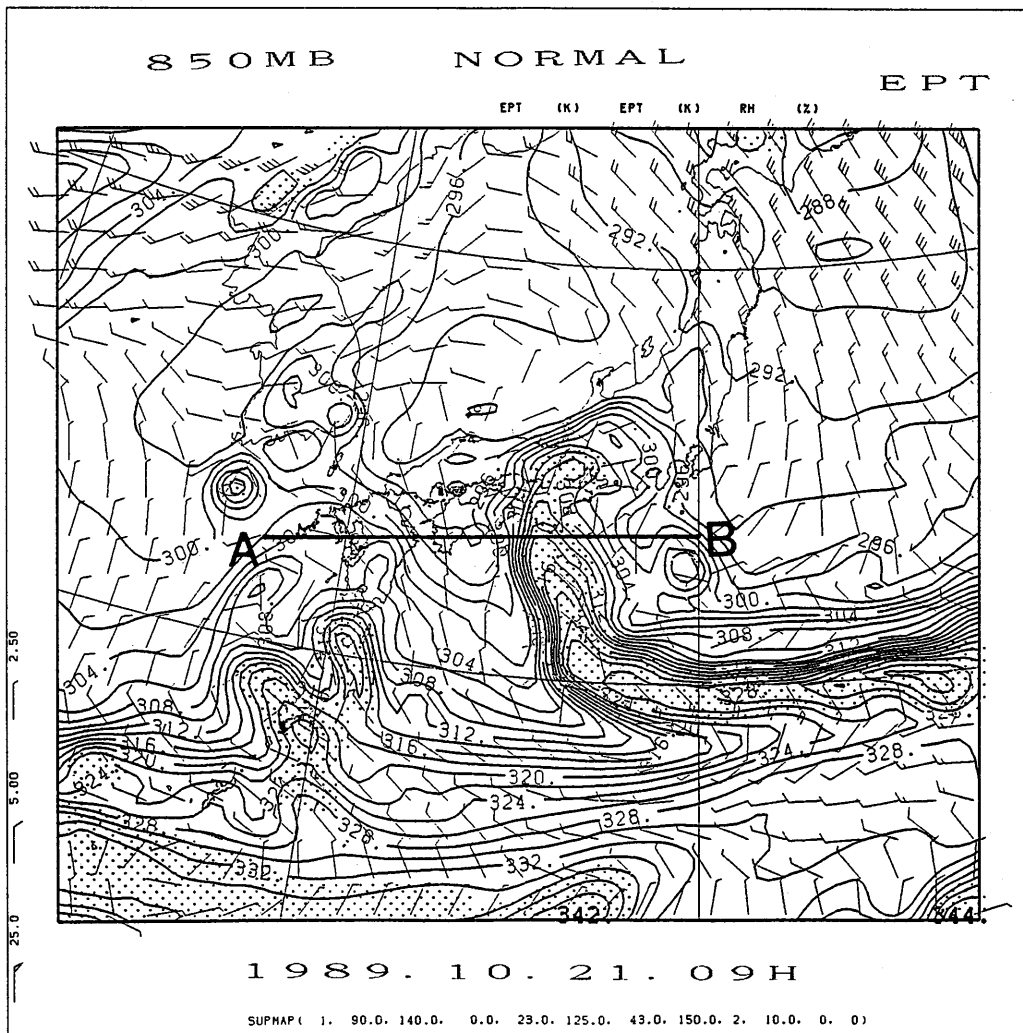
山岸(1983)は63.5kmメッシュの数値予報モデルを用いてシミュレーションを行った。第7(a)図に野口(1991)による40Kmメッシュで行った北東気流の雲域のシミュレーションと実況を示す。かなり良く予測されているが、位置的に西にずれている。図中A-B間の東西断面図を第7(b)図に示す。

高度3000m位まで湿潤で相当温位が高い。

(2) シミュレーションとエキスパートシステム

予報官は日常この「ずれ」を定性的に補正して利用している。このように良くシミュレートできていると考えられている問題でも、その地域の予測という細かい視点で見ると予測できていないので、「悪構造(ill-structure)の課題」と言える。

完全な数値モデルができれば予報官の存在は希薄になり、エキスパートシステムの予報の道具としての意義もなくなってしまっただろう(もち論、今起こっている現象の説明をさせるとか、情報文を作成させるとかのこともエキスパートシステムに行わせるべき仕事として考えられるので、エキスパートシステムそのものの存在意義がなくなってしまわないわけではない)。しかし、現状ではモデルは完璧ではなく(恐らく将来に渡っても)、なんらかの解釈を加えてやらなければならない点に、予報官の経験や知識が必要とされているのであり、その予報官の経験や知識を集約したものとしてエキスパートシステムの存在意義がある。



第7(a)図 上層トラフの影響を受けた雲域のシミュレーション、850hPaの相当温位の盛り上がりが見られる。

⑥出力について。

本システムは推論結果を表示するだけでなく、どのルールを満たして結論に達したかを、ディスプレイまたはプリンターに一覧表示するようになっている。これによって、ユーザーは単にブラックボックスから結論を受け取るのではなく、システムがどういう推論過程で結論を出したかを知ることができる。

(3) 北東気流型悪天予測のルール

A. 北高型の判定ルール

a) 最大気圧による判定

第9図は新L-ADESSで配信されるASM広域の格子点を示す。図中の太線のそれぞれについて、地上気圧が最大となる格子の位置を求める。3本の線のいずれかにおいて最大気圧を取る格子点がX印で示した格子の範囲内に入れば北高型とする。

b) 夏型気圧配置の排除

ただし、①では第10図のようなパターンを北高型としてしまうので、第11(b)図の丸印で示した格子点の値が

* 850hPaの気温が15度以上、または500hPaの高度が5850m以上の時は北高型ではない。

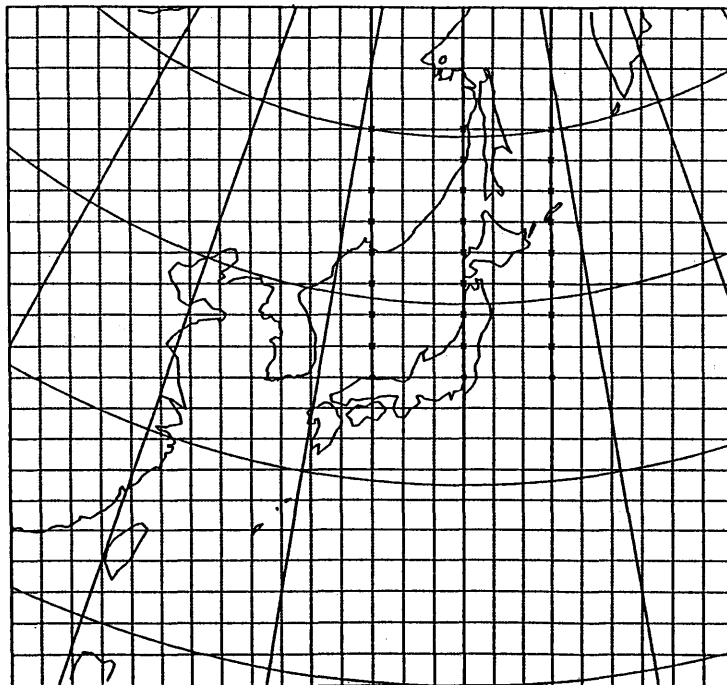
c) 問題点

第11図のような気圧型が夏型排除のルールのため北高型ではないことになる。

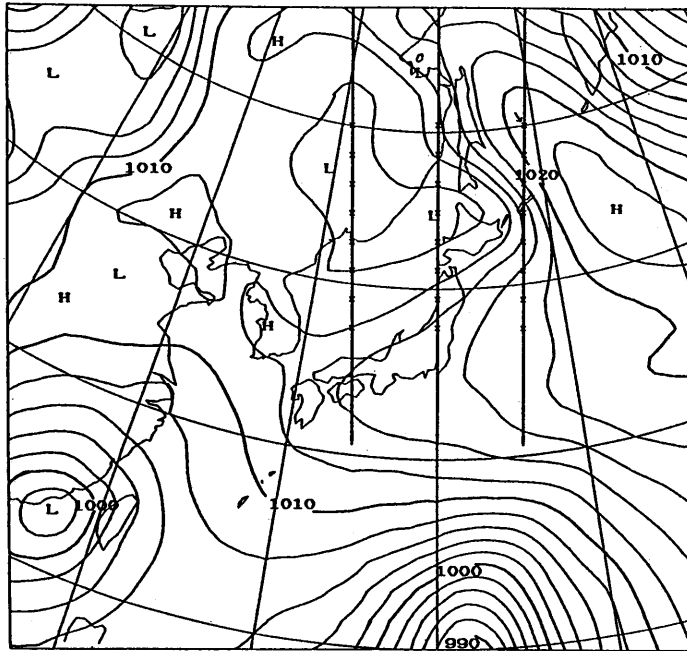
* システムを使用する操作者に判断の負担がかかる。

B. 発生の判断ルール

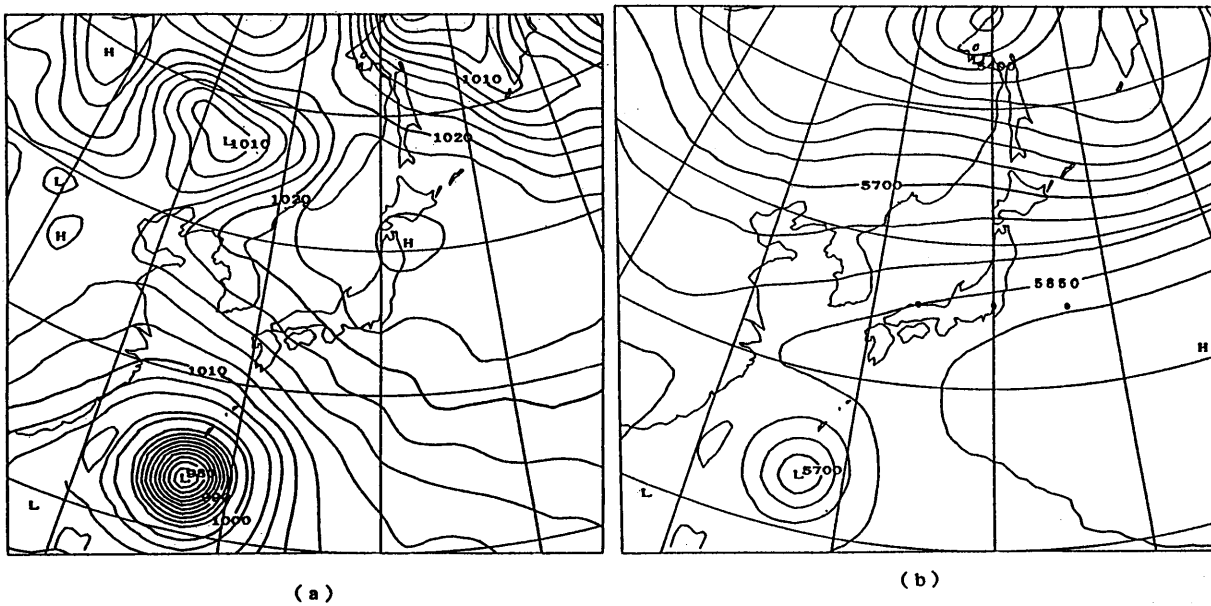
第2表に発生判断のための野口(1991)によるルール群を示す。表中(人間判断)とあるルールは、画面上に天気図と質問文を表示し、マウス操作によって人間の判断を入力するようになっている。



第9図 新L/Aで配信されてくるASM広域GPVの格子点。北高型の判定には太線の範囲で地上気圧が最大となる点を求め、それがX印の点であれば北高型とする。ただし、丸印の点で500hPa高度が5850m以上または850hPaの気温が15度以上となった場合は北高型ではない(夏型排除ルール)



第10図 夏型排除ルールを用いない場合に北高型と判定される例(1991年9月5日00Zを初期値とする24時間後の地上気圧)。矢印で示した格子点が最大の地上気圧となった。等値線の間隔は2 hPa。



第11(a)(b)図 夏型排除ルールのために北高型でないと判定された例(1991年9月25日00Zを初期値とする24時間後の予想値)。(a)地上気圧。(b)500hPa高度。等値線の間隔は50m。黒丸で示した点が夏型排除ルールで参照される点。

a) 中規模現象の条件 (基本ルール)

- ① 関東南部の下層が湿潤，または暖湿気の移流のルールで，3つの条件のうち2つ以上満たせば適合とする。
- ② 風向が北東である条件。

第2表 北東気流型悪天の発生/非発生を判断するためのルール

<p>〔発生/非発生を判断するためのルール〕</p> <p>① A. $TTd850 \leq 3.0$ OR $TTd900 \leq 3.0$ B. 900mb 相当温位移流 ≥ 5.0 C. 850mb 温度移流 > 5.0 OR 900mb 温度移流 > 5.0</p> <p>② 10. \leq 関東の東の海上の風向 ≤ 80.</p> <p>③ 南北平均 $T850-700 < 6$. OR $\theta 850-700 > 5$.</p> <p>④ 北東平均 $Tsfc-900 > 9$. OR $\theta e900-850 \leq 0$.</p> <p>⑤ 850mb の等温線が関東で南下・西日本で北上</p> <p>⑥ 日本海にサーマルトラフがある。</p> <p>⑦ 渦度の零線が関東の北にある。</p> <p>⑧ (人間判断) 関東の地上は東南東にのびる高圧場の中にある。</p> <p>⑨ (人間判断) 500mb の谷は抜け、850mb の温度集中帯が関東付近にある。</p> <p>⑩ (人間判断) 関東地方は合流場である。</p> <p>⑪ (人間判断) 500mb の負の渦に、関東付近で割れ目がある。</p>

③ 850~700hPa間が安定であること (中部山岳を回り込む風が吹くために必要)。

④ 最下層が不安定であること。

b) 総観規模現象の条件

⑤から⑪は総観規模の場との関係を示したもので、ここでは詳細に述べないが解析的研究によって得られてきた経験的知識が反映されている。

c) 発生の判定

ここでは発生の条件として、これらの11個のルールの内、4個以上を満たすこととしている。4個という数字の根拠は、基本ルールである①から④をすべて満たした時はそれだけで発生と考えてよいという判断からである。

C. 発生領域判断ルール群

第3表は全域発生するか、局部発生で済むかを判断するためのルールである。ここでは全域と局部の内、適合した「ルール数の割合」が大きい方が起こるといふ「多数決方式」を取っている。

D. 悪天の程度が大きいことを判断するルール群

第4表に掲げたルールを検討し、一つでも満たせば「全域発生で、かつ、悪天の程度が大きい」という結論になるようになっている。

3.5.3 実行例

1991年9月23日の00Zを初期値とする24時間後の予測を例に、使用法を説明する。

① 北高型の判断

プログラムを起動すると、新L-ADESSで配信されている最新の数値予報GPVの初期時刻を表示し、何時間先の予測を行うかを聞いてくる。24と入力してリターンキーを押すと、次に500hPa, 850hPa, 地上気圧の各マップを表示し、北高型かどうかの判断結果が表示される (第12図)。この場合は北高型と判断されたので、次に進む。

② 発生/非発生の判断

人間判断のステップでは第13図のように質問に該当する高度マップと質問文を表示するので、YESまたはNOで回答する。人間判断が終了すると、第14図のように発生/非発生の判断結果を表示する。この例では第2表のルー

第3表 北東気流型悪天が全域発生か局部発生かを判断するためのルール

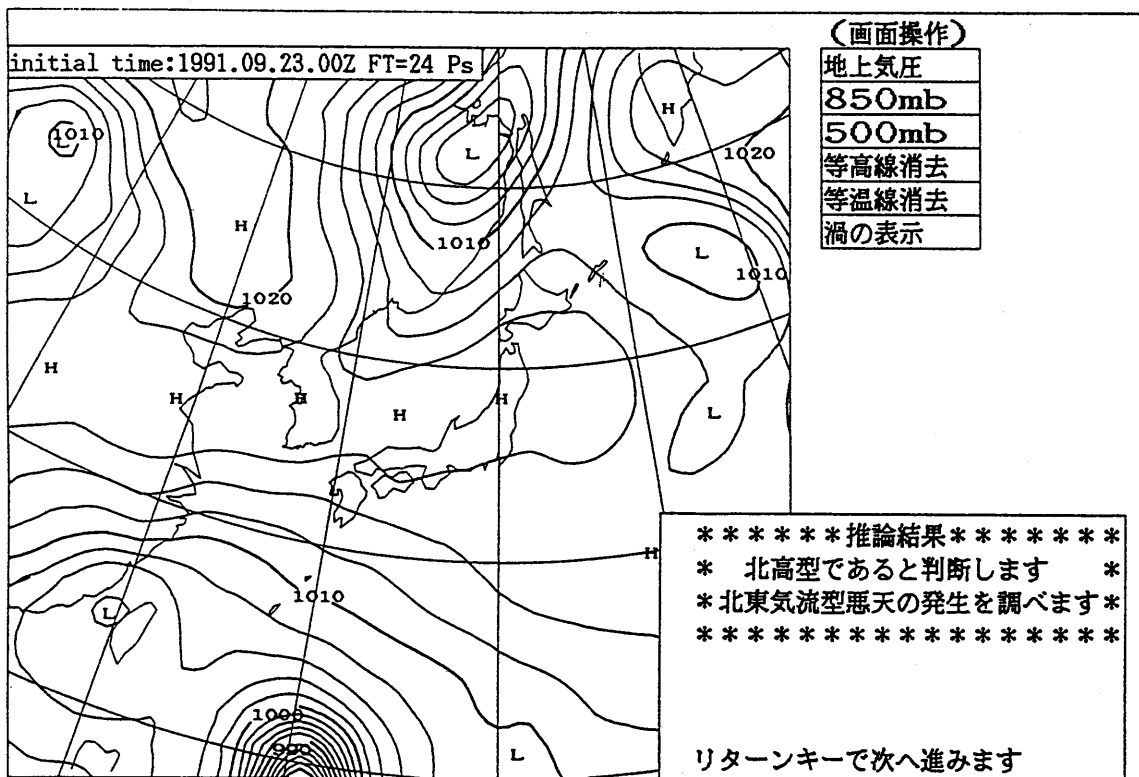
<p>[全域発生のルール]</p> <p>① $DWL > 2$.</p> <p>② 渦度の移流 $avor850 > 2$. OR $avor900 > 1$.</p> <p>③ 温度勾配 $850mb > 3$. OR $900mb > 3$.</p> <p>④ $Rsfc \geq 1$.</p> <p>⑤ 南北平均 $\theta e850-900 \leq 0$.</p> <p>⑥ $130. \leq 900mb$ 風向 ≤ 250 .</p> <p>⑦ $190. \leq 700mb$ 風向 ≤ 260 .</p> <p>⑧ $700mb \omega < 0$.</p> <p>⑨ 850mb の正の渦が近くにある</p> <p>⑩ 500mb の渦が接近</p> <p>⑪ 300mb の渦が接近</p> <p>⑫ (人間判断) 125~137E に明瞭なトラフがある。</p> <p>⑬ (人間判断) 逆位相の場が関東地方に接近している。</p> <p>⑭ (人間判断) 寒冷渦が沿海州から日本海付近にある。</p> <p>[局部発生のルール]</p> <p>① $700mb \omega > 5$.</p> <p>② $TTd700 > 9$.</p> <p>③ 700mb 温度移流 < 0 . (寒気移流)</p> <p>④ 850mb 温度勾配 ≤ 3 .</p> <p>⑤ $Rsfc < 1$.</p> <p>⑥ $270. \leq 850mb$ 風向 < 330 .</p> <p>⑦ 850mb 相当温位移流 < 0 .</p> <p>⑧ (人間判断) 関東の西に弱いトラフがある。</p>

第4表 北東気流型悪天が全域発生する場合、悪天の程度が大きくなるかどうかを判断するためのルール

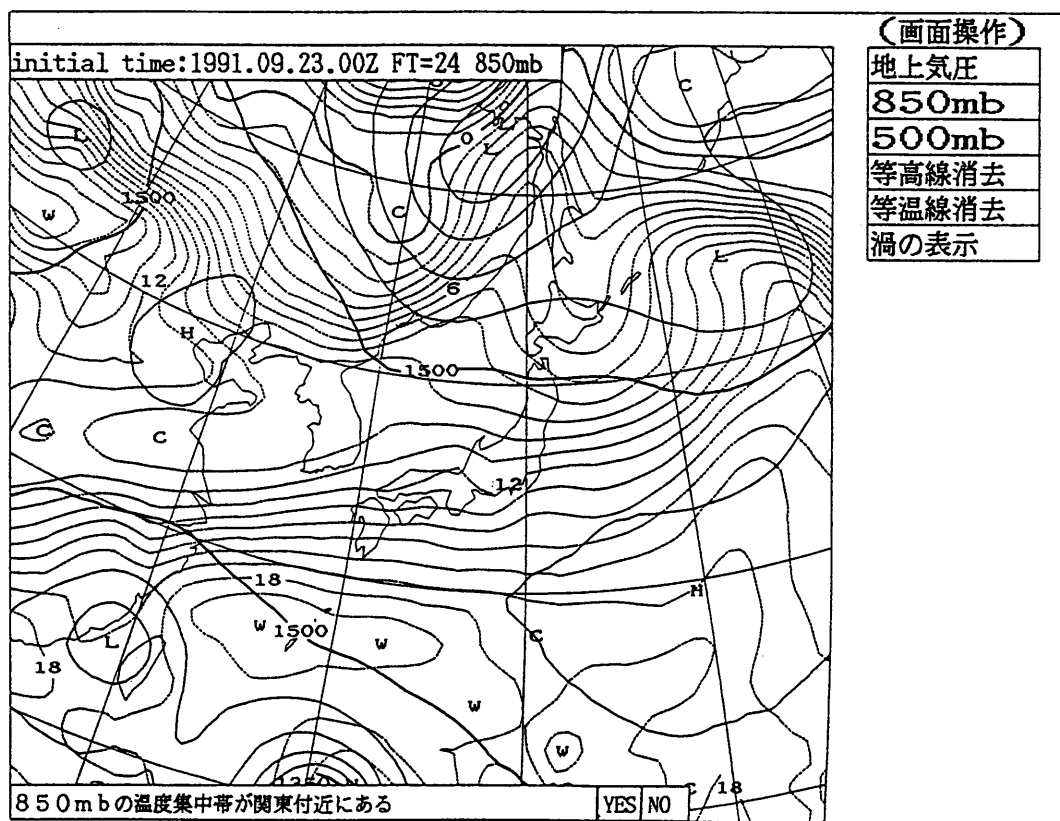
<p>[悪天の程度が大きいことを判断するルール]</p> <p>① (人間判断) 地上で関東の南海上32N 以北に前線がある。</p> <p>② (人間判断) 850mb で2本の前線帯に挟まれた発散軸は38N 以北にある。</p> <p>③ (人間判断) 関東付近に低気圧がある。</p> <p>④ (人間判断) 地上で関東南部に凹みがある。</p>
--

ルうち②③④⑨⑩を満たしたので適合ルール数が4以上となり、発生と判断され次のステップに進んだ。なおこの時のJSMでは関東地方の中・下層は乾燥しており、JSMの雲量をそのまま使えば中・下層雲の発生はないことになる。

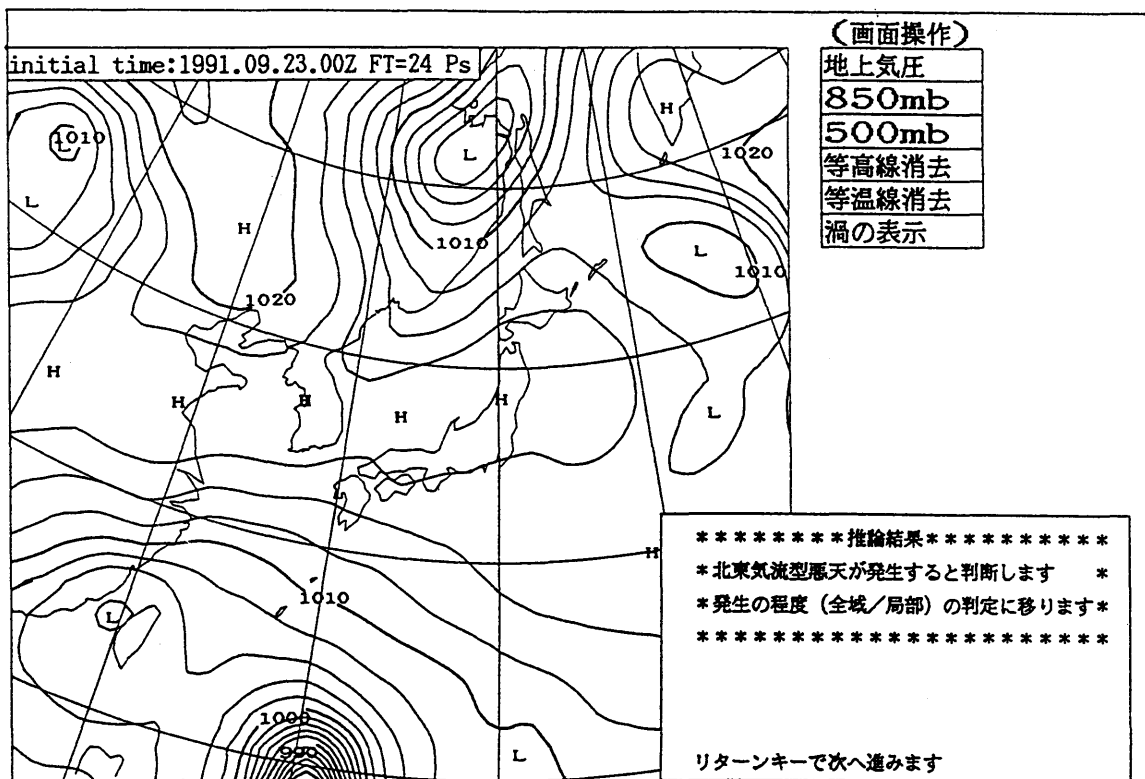
③ 全域/局部発生の判断



第12図 北高型判定結果表示画面



第13図 人間判断の入力画面。操作者は画面下部に表示された文章に対してYESかNOかをマウスでピックして回答する。



第14図 北東気流型悪天の発生/非発生の判断結果表示画面。

本ステップでも人間への質問を行い、それが終わると第15図のように判断結果を表示する。この例では第3表の全域発生ルールのうち②⑤～⑪，局部発生ルールのうち②④⑤⑧を満たしたので，全域発生ルール適合率が57%，局部発生ルール適合率が50%となり，全域発生と判断された。

④悪天の程度の判断

第4表のルールのうち④を満たしたので，結論を同じく第15図に示した。

⑤終了処理

推論に使用されたルールの一覧表示をするかどうかを聞いてくるので，表示を選択すると，第5表のような一覧をディスプレイまたはプリンターに表示する。

3.5.4 システムの検証について

(1) 検証の方法

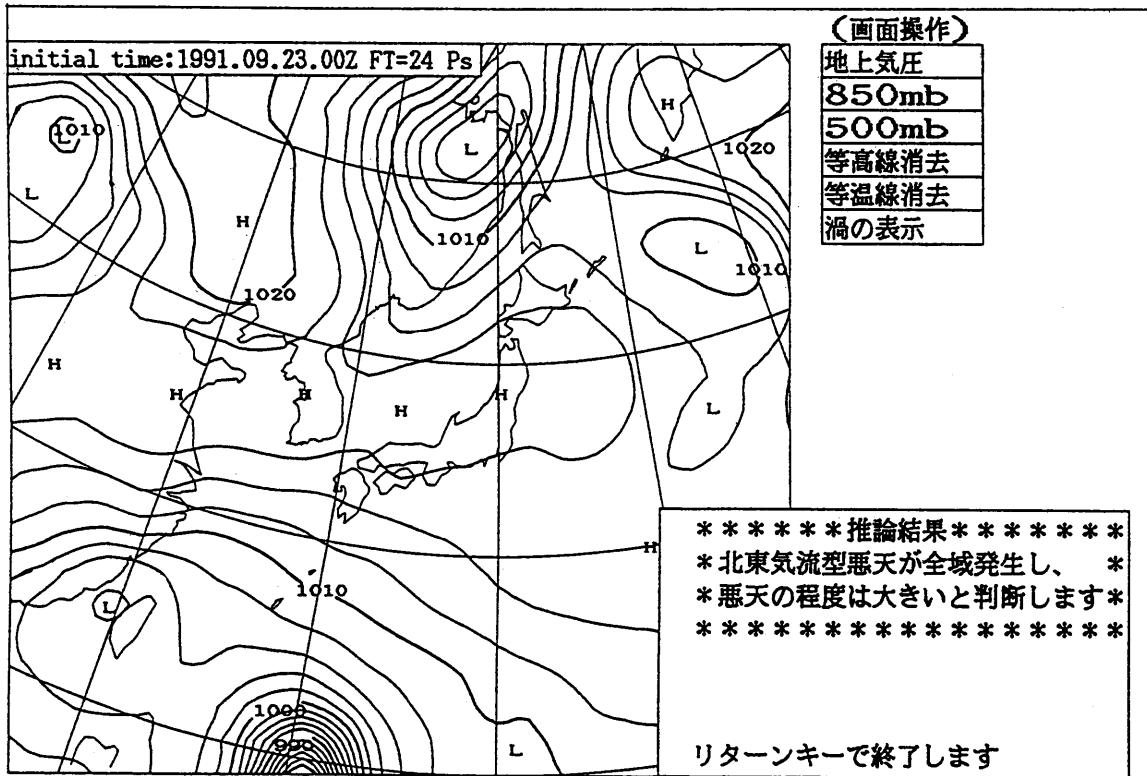
元木(1994)は野口・小泉(1992)が開発した「北東気流型悪天予測のエキスパートシステム」を気象庁の新L-ADESSに搭載し，1992年4月～1993年3月の1年間，9時を初期時刻とする24時間予測を行い，実況と比較・検証した。1年間に実際に予測を行ったのは201例で，暖候期112例，寒候期は89例である。

地上天気図，JSM数値予報，局地天気図，GMSの可視画像および地方指示報を用いて北東気流の発生の有無，北東気流による悪天の程度を判断した。

(2) 検証結果

第6，第7，第8の各表に年間，暖候期，寒候期の検証結果を示す。

- ①第6表から年間の実況の北高型の発生は87例(43%)で，予測は66例(33%)と76%予測している。
- ②実況の北高型87例の中で局地以上の曇天や降水を伴う現象は65例(75%)と頻度が高い。一方予測は27例で見逃しが多い。



第15図 北東気流型悪天の程度についての判断結果表示画面。

第5表 24時間後の予想に用いられたルールの一覧。プログラムの最後に出力される。

初期時刻1991年9月23日00Zから24時間後の予想

(結論)北高型であると判断します。

(非発生)TTd 850 9.195570 > 3.0 AND TTd 900 6.345417 > 3.0

(非発生)900mb 相当温位移流 -3.924467 < 5.0

(非発生)850mb 温度移流 0.830790 < = 5.0 AND 900mb 温度移流 1.677767 < = 5.0

(発生)10. < = 関東の東の海上の風向 30.660519 < = 80.

(発生)南北平均 T850-700 6.737582 < 6. OR θ 850-700 9.630280 > 5.

(発生)北東平均 Tsfc-900 7.951333 > 9. OR θ e900-850 -4.056152 < = 0.

(発生)*500mbの谷は抜け、850mbの温度集中帯が関東付近にある。

(発生)*関東地方は合流場である。

(結論)北東気流型悪天が発生すると判断します。

(全域)渦度の移流 avor850 -0.538901 > 2. OR avor900 1.885317 > 1.

(全域)南北平均 θ e850-900 -4.047964 < = 0.

(全域)130. < = 900mb 風向 136.382050 < = 250.

(全域)190. < = 700mb 風向 250.336899 < = 260.

(全域)700mb ω -5.605392 < 0.

(全域)850mbの正の渦が近くにある

(全域)500mbの渦が接近

(全域)300mbの渦が接近

(局部)TTd700 20.438679 > 9.

(局部)850mb 温度勾配 0.504514 < = 3.

(局部)Rsfc 0.014771 < 1.

(局部)*関東の西に弱いトラフがある。

(悪天)*地上で関東南部に凹みがある。

(結論)北東気流型悪天が全域発生し、悪天の程度は大きいと判断します。

第6表 北東気流型悪天予想エキスパートシステムの本庁における評価テストの結果1992年4月～1993年3月の結果。

予 想	実 況				E	計
	A	B	C	D		
A : 北高型、曇天は非発生	11	5	1	14	8	39
B : 々、曇天は局部的発生	7	2	3	7	2	21
C : 々、曇天は全域発生	0	0	0	0	0	0
D : 々、降水を伴う全域発生	0	0	0	5	1	6
<hr/>						
E : 北高型にならない	4	9	6	13	103	135
<hr/>						
計	22	16	10	39	114	201

第7表 第6表に同じ。ただし、1992年4月～1992年9月（暖候期の結果）。

予 想	実 況				E	計
	A	B	C	D		
A : 北高型、曇天は非発生	3	1	1	6	4	15
B : 々、曇天は局部的発生	5	1	2	4	2	14
C : 々、曇天は全域発生	0	0	0	0	0	0
D : 々、降水を伴う全域発生	0	0	0	3	1	4
<hr/>						
E : 北高型にならない	3	3	4	9	60	79
<hr/>						
計	11	5	7	22	67	112

なお7月の場合、17回の予想および判定結果はどちらもAであった。

第8表 第6表に同じ。ただし、1992年10月～1993年3月（寒候期の結果）。

予 想	実 況				E	計
	A	B	C	D		
A : 北高型、曇天は非発生	8	4	0	8	4	24
B : 々、曇天は局部的発生	2	1	1	3	0	7
C : 々、曇天は全域発生	0	0	0	0	0	0
D : 々、降水を伴う全域発生	0	0	0	2	0	2
<hr/>						
E : 北高型にならない	1	6	2	4	43	56
<hr/>						
計	11	11	3	17	47	89

③実況では降水を伴う全域の曇天は39例(19%) あるが、予測では6例しかなく見逃しが非常に多くなっている。

④全域曇天の予測例はない。

(3) 改良案

- ①曇天や降水を伴う場合の予測精度は低く、見逃しが多いので予測ルールの改良や追加が必要である。
- ②全域で曇るときはほとんど小雨を伴っているので、降水を伴わない全域曇天のカテゴリーは不用である。小雨と1 mm/hr以上の降水との区別が良い。
- ③雨域の広がりなどの降水の予測には客観的な方法を導入すべきである。

3.5.5 ルールの再構成

(1) 情報量計算による分岐木の構成

前項の検証結果を見るとルールの追加や改良を求めている。小泉(1993)は各ルールの閾値の改良やルールの追加のための再検討も必要であるが、現在並列的・平均的な取り扱いをしているルールを再構成するため第2章に示したID3を用いて、北東気流型悪天予測エキスパートシステムのルールを分岐木に再構成した。

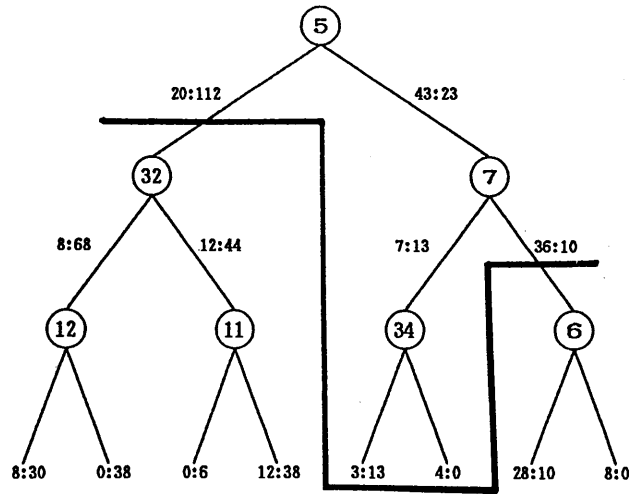
(2) 結果

小泉(1993)は第9表のように北東気流型悪天予測に用いられたすべてのルールを用い、全域に広がる悪天の発生の有無を予測対象とした。1991年11月～1992年5月の198個のサンプルに、ID3を適用して求めた分岐木を第16図に示す。MDL原理に基づいて求めた最適な分岐木は図中の太線より上の部分である。

これによるとルール5の降水量が0より大きいかが最も有効なルールとなっており、経験的ルールは上位にランクされていない。この結果は統計的に見る限り、経験的ルールよりモデルの出力を直接適用する方が有効性が高い

第9表 北東気流型悪天予想エキスパートシステムで使われているルールの一覧表。
すべて00Zを初期値とするJSMの24時間予想値に基づいている。

- 1 850mb T-Td \leq 3.0 または 900mb T-Td \leq 3.0
- 2 900mb相当温位移流 \geq 5.0
- 3 850mb温度移流 $>$ 5.0 または 900mb温度移流 $>$ 5.0
- 4 DWL(湿潤層の厚さ) $>$ 2.
- 5 降水量 $>$ 0.
- 6 降水量 \geq 1.
- 7 700mb T-Td $<$ 9.
- 8 10. \leq 関東の東の海上の風向 \leq 80.
- 9 130. \leq 900mb風向 \leq 250.
- 10 190. \leq 700mb風向 \leq 260.
- 11 270. $<$ 850mb風向 $<$ 330.
- 12 南北平均T850-T700 $<$ 6. または θ 700- θ 850 $>$ 5.
- 13 北東平均Tsfc-T900 $>$ 9. または θ e850- θ e900 \leq 0.
- 14 渦度の移流avor850 $>$ 2. または avor900 $>$ 1.
- 15 850mbの温度勾配 $>$ 3. または 900mbの温度勾配 $>$ 3.
- 16 700mb ω $<$ 0.
- 17 700mb ω $<$ 5.
- 18 700mb暖気移流 $>$ 0.
- 19 850mb相当温位移流 $>$ 0.
- 20 900mb相当温位移流 $<$ 0.
- 21 34N137Eと32.3N140Eの風向差 $>$ 20.
- 22 275 $<$ 仙台の風向 $<$ 315かつ風速 $>$ 10m/s
- 23 房総半島南部の風速 \leq 10m/s
- 24 850mbの等温線が関東で南下・西日本で北上
- 25 30～40N, 125～137Eに明瞭なトラフがある。
- 26 関東の西30～40N, 125～137Eに弱いトラフがある。
- 27 逆位相の場が関東地方に接近している。
- 28 寒冷渦が沿海州から日本海付近にある。
- 29 日本海にサーマルトラフがある。
- 30 渦度の零線が関東の北にある。
- 31 850mbの正の渦が近くにある
- 32 500mbの渦が接近
- 33 関東地方は合流場である。
- 34 500mbの負の渦に、関東付近で割れ目がある。
- 35 地上で関東の南海上32N以北に前線がある。
- 36 関東付近に低気圧がある。
- 37 850mbで2本の前線帯に挟まれた弱散軸は38N以北にある。
- 38 地上で関東南部に凹みがある。



第16図 北東気流型悪天予想エキスパートシステムの全ルールにID3の方法を適用して得た分岐木(4段目まで)。丸付き数字は表1のルールの番号を表し、ルールに適合したサンプルは右の枝に、適合しなかったサンプルは左の枝に進む。全部で198のサンプル(現象発生63:非発生135)を用いており、各々の枝の上の数字はその枝に進んだサンプルのうちの現象発生例数:非発生例数を表す。また、MDL原理によって求めた最適な分岐木は太線より上の部分である。

という統計的な有効性と人間にとっての優先順位が食い違った形になっている。

3.5.6 考察

北東気流の発生についての概念モデルを基に、一応エキスパートシステムに表現する試みはできたが、検証によれば悪天が広がって降水が発生するような型の北東気流を推論することができていないことが分かった。鈴木・安藤(1992)の概念モデルは雲域の特徴的な形の検出できる状況の場合であり、降水が発生する時に現れる崩れた形の北東気流は考慮されていない。上層のトラフが接近すると加藤(1983)も指摘しているように非常に早く雲域が拡大・発達し、形を特定するのは困難である。またオホーツク海高気圧による悪天、いわゆる「ヤマセ」が除外されている。元木の検証には「ヤマセ」や関東周辺に低気圧が存在する時の北東気流も含まれている。予報の現場で利用するには止むを得ないと思うが、システムのもとになる概念モデルと違った使われ方をしたのは残念なことである。

現場で利用するにはもっと強固なシステムでないといけないことが分かった。また総観場の降水と中規模場の降水を分けるのは困難であり、拘る意味はない。またルールは数値的表現の方が処理も簡単であるが、この時点ではアメダスの降水量の測定は1mm単位であるので、北東気流の降水の下限を如何に設定するかの問題がある。このような点も考慮に入れて、客観的な立場でエキスパートシステムの作成を試み、両方の立場からエキスパートシステムを見ることが、人間の知識が考慮された客観的で精度の高いシステム構築への早道になると考える。

3.6 客観的手法によるエキスパートシステムについて

3.6.1 はじめに

野口・小泉(1994)はルールの閾値や信頼度を客観的に適正な値に決定し、またそのルールを客観的に適正に構成する手法について以下のように検討した。

用いたデータは1991年11月～1992年10月の1年間の前日9時を初期値とする数値予報(ASMとJSM)の24時間予報と東京における午前7時～10時の3時間に1mm以上の降水量である。一部欠測のためデータ数は338例である。

ルールは一般に①式で示した形をしている。

$$\text{IF } a \quad \text{THEN } x \quad \text{cf} \quad \text{①}$$

(もし a が真実ならば x である。このルールの信頼度は cf である)

ここで、a が条件部で、x が実行部、cf は信頼度で

$$cf = P(x | a)$$

②

の条件確率で与えられる。

3.6.2 降水の有無の予測ルール

(1) 予測対象の選択

予測対象は①式のx(実行部)に当たるもので、北東気流による降水が表現できるように3時間に1mm以上の降水量の有無を対象とした。

(2) 条件部の予測因子

数値予報(ASMとJSM)の24時間予測から第10表に示す26個の変数を条件部の予測因子とした。

(3) 条件部の予測因子の最適な閾値の決定

条件部 a は一般には

$$a > a_0$$

③

の形をしており、 a_0 が閾値である。

降水の有無についての各予測因子の値が閾値以上の時、1mm/3hrの降水の有無を実況として、第11表のようなカテゴリ分割表を作り、確信度cfやCSI(スレットスコアとも呼ばれる)等の検証指数を計算する。

閾値を少しずつずらしながら、降水の有無を最も良く予測する分割表の閾値を最適な閾値とする。

第10表 CSIによる予想ルールの閾値と信頼度

予測因子	RH50	RH70	RH85	RH90	W70	TD70	TD85	TD90	DWL	TA70	TA85	TA90	EPA8
しきい値	96.5	86.0	82.0	84.5	-8.5	2.0	2.5	2.5	3.0	2.0	3.5	3.5	5.5
信頼度	0.60	0.59	0.43	0.40	0.22	0.58	0.44	0.37	0.60	0.19	0.28	0.32	0.21
予測因子	EPA9	T500	T850	EPT8	VOR8	VOA8	VOA9	TG85	TG90	FR1	TVS9	PT78	EP89
しきい値	16.0	-18	8.5	294	2.0	9.5	10.0	0.5	0.5	0.12	6.0	8.5	2.0
信頼度	0.35	0.17	0.17	0.16	0.29	0.33	0.28	0.13	0.14	0.51	0.15	0.17	0.21

(予想因子の略号の説明)

RH50 : 500hPAの相対湿度 (%)	EPA9 : 900hPA相当温位移流
RH70 : 700hPAの相対湿度 (%)	T500 : 500hPAの気温
RH85 : 850hPAの相対湿度 (%)	T850 : 850hPAの気温
RH90 : 900hPAの相対湿度 (%)	EPT8 : 850hPA相当温位
W70 : 700hPAの上昇流 (hPA/hr)	VOR8 : 850hPAの渦度
TD70 : 700hPAの露点差 (度)	VOA8 : 850hPAの渦度移流
TD85 : 850hPAの露点差 (度)	VOA9 : 900hPAの渦度移流
TD90 : 900hPAの露点差 (度)	TG85 : 850hPAの温度差の絶対値
DWL : 85%以上の湿潤層の厚さ	TG90 : 900hPAの温度差の絶対値
TA70 : 700hPA温度移流	FR1 : 1時間降水量の予想 (mm/hr)
TA85 : 850hPA温度移流	TVS9 : 地上と900hPAの温度差
TA90 : 700hPA温度移流	PT78 : 850と700hPAとの温位差
EPA8 : 850hPA相当温位移流	EP89 : 850と900hPAとの相当温位の差

第11表 最適閾値を決定する2カテゴリー表。SCはスキルスコア。aはRH50, bはDWI, cはFRIを示す。

a			b			c		
	予 測			予 測			予 測	
実 況	降水あり	降水なし	実 況	降水あり	降水なし	実 況	降水あり	降水なし
降水あり	18	20	降水あり	27	11	降水あり	25	13
降水なし	12	288	降水なし	18	282	降水なし	24	276
しきい値	96.5		しきい値	3.0		しきい値	0.120	
CSI	0.360		CSI	0.482		CSI	0.403	
S C	0.478		S C	0.602		S C	0.513	
適中率	0.905		適中率	0.914		適中率	0.891	
信頼度	0.600		信頼度	0.600		信頼度	0.510	

一般に2カテゴリーの検証指数として、菊池原(1988)が示しているように、適中率、スキルスコア、CSIの3種がよく使われるが、スキルスコアとCSIは似た特性を持っており、また以下の理由もあるのでCSIを選んだ。

$$cf = \alpha / (\alpha + \beta)$$

$$CSI = \alpha / (\alpha + \beta + \gamma)$$

$$\text{適中率} = (\alpha + \delta) / (\alpha + \beta + \gamma + \delta)$$

これら3者の各数値が最大になる閾値はそれぞれ微妙に異なっている。ルールであるので、通常は信頼度が最大になる閾値が選ばれるのであろうが、降水の有無の気候学的降水確率は0.112と小さく、 δ の値が大きい。こういう場合、値の大きい δ を除いた検証指数CSIを使うが良いと考え、CSIが最大になる閾値をそれぞれのルールについて最適な閾値とした。

(4) ルールの信頼度の決定

CSIを最大にする閾値に相当する信頼度をルールの信頼度とした。

3.6.3 ルール群の総合信頼度の決定

(1) ルールの結合の必要性

降水予測対象xに対し、予測ルールは26個あるので、このままではどのルールを信じて良いか迷ってしまうことになる。ルール群全体としてxをどう判定するかが問題であるので、ルール群全体を結合して総合信頼度を求める必要がある。

(2) ベイズ法による結合

aとbがxに対して互いに独立ならば(注)

$$\text{IF } a \quad \text{THEN } x \quad cf_1 \tag{4}$$

$$\text{IF } b \quad \text{THEN } x \quad cf_2 \tag{5}$$

ただし, $cf_1 = P(x | a)$, $cf_2 = P(x | b)$

④と⑤の 2 ルールの結合信頼度 c は,

$$\text{IF } a \cap b \quad \text{THEN } x \quad c \quad \text{⑥}$$

$$c = cf_1 cf_2 / \{(1 - cf_1)(1 - cf_2)Q(x) + cf_1 cf_2\}$$

$$Q(x) = p(x) / p(\sim x), \quad p(x) + p(\sim x) = 1$$

となる。

3 ルール以上の結合は同じ操作を次々と継続して行う。

(注) 独立性の検定

26 個の予測ルールから x に対して、互いに独立なルールを次のように見つけた。まず信頼度の最も大きいルールを抽出する。第11表からはDWL (85%以上の湿潤層の厚さ) とRH50 (500hPaの相対湿度) が信頼度は0.6で同じであるが、CSIや適中率等から見てDWLの方が良い。DWLと独立なルールを5%の危険率でX(カイ)2乗検定により、総当たり方式で抽出した。それらのルールの中で、個別の信頼度が0.3未満のルールを精度向上のため除外した。その結果RH50と850hPaの渦度移流が選択された。

(3) 最大信頼度選択法

適中したルールのうち、信頼度の最も大きいルールのみを選択する方法である。簡便で独立性の問題もないが、他の要素の相乗作用が取り込めない。

(4) 情報量を用いた分岐木による方法

小泉・野口(1992)の示した情報量を用いた分岐木の作成法 (Id3)を今回の降水の有無の判定に利用する。2.4.3節に、小泉がこの問題の分岐木を求め(2.14図参照)、詳しい解説を載せているのでここでは省略し、他の予測法と比較検証するため、結果のみ次節で利用する。

3.6.4 予測の検証

検証のための独立データとして、1992年11月～1993年6月の8ヶ月を選んだ。第11表に、最大信頼度選択法、ベイズ法、分岐木及び数値予報の降水予報の4種の予報法をCSI、適中率、見逃し率、空振り率の4種の検証スコアで検証した結果を示す。

最大信頼度選択法は見逃し率は小さいが、空振りが多くCSI、適中率共に低い。降水量単独法はFR1>0.12のルールのみを用いる方法で独立期間で適中率87%を示し、ベイズ法や最大信頼度選択法より優れている。ベイズ法は最大信頼度選択法より優れている。分岐木法はCSI、適中率、共に最も良いが、見逃し率の大きいのが問題である。

結論としては、分岐木法が最も良いが防災上見逃しを小さくする目的では最大信頼度を用いるのも簡便でもあり、分岐木と併せて利用すると良いと思われる。

3.6.5 ルールの洗練化

分岐木は精度は高いが、また人間の思考過程を小泉は第2章の5節で分岐木のニューラルネットへの変換について述べている。これにより分岐木に表現されたルールの閾値が新しいデータによって学習され、より適切な閾値へ近づくことが期待される。問題は知識を分岐木の形式に如何に表現するかである。客観的手法はその糸口を与えるのではないかと期待される。

3.6.6 考察

エキスパートシステムのルールを2値カテゴリ表で表現し、条件部の閾値をずらしながらCSIが最も大きくなる

第12表 降水予測精度の予想法による比較

期 間	従 属 期 間				独 立 期 間			
	C S I	適中率	見逃率	空振率	C S I	適中率	見逃率	空振率
最大法	0.410	0.855	0.048	0.542	0.302	0.813	0.079	0.619
ベイズ	0.492	0.905	0.111	0.397	0.320	0.855	0.160	0.520
分岐木	0.652	0.953	0.174	0.174	0.419	0.923	0.355	0.226
降水量	0.500	0.905	0.094	0.406	0.362	0.872	0.149	0.489

時の閾値を最適値とした。検証指数としてCSIを採用したのは、降水現象は発生が少いためである。次にこれらの最適なルールの組み合わせを種々検討し、情報量の計算から求めた分岐木による組み合わせが最も精度が良いことがわかった。分岐木をさらにニューラルネットに変換して逐次学習を行わせることにより柔軟で精度の良いエキスパートシステムを開発できると考えている。

3.7 まとめと展望

主観的な方法と客観的な方法の両方でエキスパートシステムの作成を試みた。客観的な方法では定性的なルールにデータを使って客観的に適正なルールの閾値を与え、それらのルールを機械的に分岐木にくみ上げ、さらにニューラルネットに変換する方法も開発された。エキスパートシステムの道具作りが一応できたことになる。

予報の現場ではシステムは毎日稼働するものであり、精度の良さと共に例外の少ない頑丈なシステムが求められている。そのためには異常気象への対応が是非とも必要である。大雨などの異常気象は事例が少ないので最初から客観的な手法で作成することは難しく、概念モデルが必要である。しかし最近では毎時データが獲得できるので総観場では1事例であっても、中規模スケールで見ると10倍以上のサンプルを得ることができる。数値予報やレーダエコーの微妙な違いにより、降水状況が刻々変化している。

これらの概念モデルを分岐木に表現し、ニューロネットワークに変換して逐次学習することにより、実用化に耐えるシステム作りが可能と考えている。

このような状況を背景に野口(1997)は東京地方の7年間のデータを用い、降水強度と総観場との関係を明らかにすると共に、関東地方では中規模場で見ると地形によるシャドーラインから20~30km以内に大雨域が集中していることがわかった。シャドーラインはアメダスの収束場と良い対応が認められるが、予測に用いるにはこのアメダススケールの収束の予測を如何に行うかが課題である。現在の数値予報では困難であるが、近い将来数値予報モデルの高度化(10kmメッシュ)が実施されれば上述の戦略により大雨予測のためのエキスパートシステムも可能になるのではないかと考えている。

また将来もっと数値予報が進歩すると実況との誤差が小さくなっていく。しかし、ぴったり一致することはなく、似た予測分布が与えられると考えられる。この場合、数値予報が実況を良くシミュレートしているかどうかの判定をどうするかの問題がある。スキルスコアなどの指数で検証する方法もあるが、各々の事例が数値予報とどの程度合致しているかどうかの検討が必要になってくると思われる。パターン処理技術を用いて、類似性を判定する技術も提案

されている。これらの研究はエキスパートシステムと直接関係しないので今回は省略したが、将来この方面の技術が必要になると考えられる。

参考文献

- 檜尾守昭, 1991: メソ量的予報技術の確立について, 気象庁研究時報, 43, 326-331, 気象庁
- 檜尾守昭, 1992: 概念モデルの進化の段階分けの試みとメソ量的予報にとって必要な段階, 気象庁研究時報, 44, 323-326, 気象庁
- 加藤正勝, 1983: 中・小規模じょう乱に伴う雲域と上層の谷との相互作用, 天気, 30, 335-336
- 菊地原英和, 1988: 2 カテゴリー予測の検証と評価, 気象研究ノート, 161, 日本気象学会
- 北村雅仁, 1991: 北東気流, 平成 2 年度全国予報技術検討会資料, 2-11, 気象庁予報部
- 元木敏博, 1994: 北東気流型悪天を予想するエキスパートシステムの試験, 平成 5 年度全国予報技術検討会資料, 64-68, 気象庁予報部
- 二宮洗三, 1991: メソスケール予報の問題点, 気象研究ノート, 172, 45-58, 日本気象学会
- 野口晉孝, 1991: 沿岸前線と北東気流の数値予報による解析, 日本気象学会春季大会予稿集, 35
- 野口晉孝, 小泉 耕, 1994: 客観的手法によるエキスパートシステムについて, 平成 5 年度全国予報技術検討会資料, 46-55, 気象研究所
- 野口晉孝, 1997: 東京地方に短時間強雨と不連続線の関係についての統計的研究, 平成 8 年度全国予報技術検討会資料, 10-18, 気象研究所
- 饒村 曜, 1991: メソ量的予報技術の確立について, 気象庁研究時報, 43, 323-326, 気象庁
- 鈴木和史, 1991: メソ天気系モデル作成の手順, 気象庁研究時報, 43, 338-347, 気象庁
- 鈴木和史, 安藤義彦, 1992: 関東地方に局地的悪天をもたらすメソ α スケール雲システムのメソ天気系モデル, 気象庁研究時報, 44, 63-79, 気象庁