気象災害の時代的変遷と、これに対応する 防災気象情報の発展について

倉 嶋 厚*

Recent Change of Meteorological Disaster and Development of Meteorological Information using Activities on Preventing Disaster

Atsushi KURASHIMA

I. は し が き

本稿の目的は、近年における気象災害の形態、構造の変化と、これに対応する防災気象情報の変遷を概観し、今後の発展方向を展望することにある。

II. 気象災害の歴史性

災害の形態、構造には、時代とともに変遷する歴史性と、地域によつて異なる地域性があることは、奥田 (1965), 西川 (1968), 矢野 (1971) などによつて論じられている。

自然災害は、自然現象と人間社会の相互関係の中で起こるものであるから、その歴史性には (1) 自然現象そのものが持つ歴史性 (たとえば気候変動) (2) 人間社会の持つ歴史性 (社会環境の変化) (3) 自然現象と人間社会のかかわり合い方の歴史性 (自然観, 防災対策などの変化) などの諸要因が作用している。これらの三要因は相互に関連しており、とくに (2) (3) 項は分離し難く、これを一括して社会要因とし、(1) 項の自然要因と並立させて考えることもできる。

日本の災害の歴史的変遷については、西川 (1968) によつて第 1 図のように図示されている。この図では消長を示すベルトの幅によつて、各時代の各災害の重要度が示されている。細い直線状の時代は、その災害はあつてもほとんど問題にならないことを意味し、クサビ状に幅が広がる場合は災害の漸増、円味を帯びて広がる場合は急激な増加を示す。幅がせばまる場合は同様に減少を示す。西川の分析によれば、この図に示されるような災害の消長は、ほとんどが社会要因によつて説明され得る。

災害史料から見た気象災害の歴史性については、日下部 (1959, '60, '61, '62, '68, '73, '75) によつても、詳細に分析されているが、変遷の多くは社会要因に帰せられている。一例をあげると、第 1 表は中部地方 (三重県を含む) の大規模

第 1 図 日本災害消長図 (西川1968による)

* 気象庁

第1表 中部地方(三重県を含む)の大規模災害件数の世紀別、種類別の変遷
(各世紀ごとに災害件数を100とした場合の各災害の件数を%で表わしてある。日下部1975の資料による)

世 紀	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
干 ば っ	60.0	42.4	53.5	68.8	55.6	17.6	18.8	6.6	13.2	16.8	8.9	11.7	9.7
暴風雨(台風を ふくむ),大雨, 大雪,長雨	30.0	39.4	25.1	25.0	33.2	70.6	62.6	73.4	65.5	59.5	74.5	75.4	76.5)

災害の件数の時代的変遷を示すが、これによると干ばつの件数には、12世紀に、顕著な相対的減少が見られる。この傾向は、九州、四国、関東地方の史料にも明瞭に現われており、日下部(1975)は、この時代に「長い間の努力がみのつて、かんけい施設が充実してきたためであろう」と推定している。災害の社会要因を示すもう一つの例をあげると、日下部(1975)によれば「17世紀はいわば日本における近世の始まりで、慶長八年(1603)に徳川幕府が成立し、地方の藩制も整った。尾張を領した徳川氏は、伊那忠次の進言により犬山から弥富に至る濃尾国境に50kmのお囲堤を築いて尾張一国を水禍から守り、尾張平野をすばらしい米産地とし、尾張の実高は公称の2倍といわれた。美濃側の堤防はお囲堤より90cm低かるべしとの不文律があり、美濃側は輪中によって水禍から自衛したが、なお、100年間に130回の洪水、10回以上の大洪水は免れなかった」のであった。

災害の変遷の多くは社会要因によつて起こっているが、しかし自然要因の変化も無視できない。とくに近年は地球規模の気候変動が人類の生存に恐威となるであろうことが、各方面で警告されている。この警告の背景には、次のような状況がある。(倉嶋1974)。

(1) 世界経済の発展、国際分業の進行などによる各国経済の相互依存性の強化と複雑化、食生活の変化、食糧政策、投機的行為などのため、従来はそれぞれの国の国内経済にしか影響の及ばなかった気候変動(異常気象)でも世界的な影響を及ぼし始め、世界的な人口増大、資源のひつ迫などと相まつて、深刻な状況を作り出すことがあること。とくに国際的な相互依存性を逆手にとつた資源戦略、食糧戦略が行われる時は、気候変動(異常気象)の結果は過去に見なかつた複雑性を帯びてくること。さらに、気候変動そのものではなく、それに関する情報(見解、予想)そのものが、たとえば世界の穀物相場の攪乱要因となり得ること。

(2) 防災計画、防災設備の基準値が、ある年代の気候値を基礎にして定められている場合には、気候変動により新しい気候の年代にはいると、その基準値を上まわる現象が頻発し、災害も多発する可能性が考えられること。

(3) 大規模な気候変動そのものが社会要因(人間活動一大気汚染、熱汚染など)によつてひき起こされている可能性が考えられてきたこと。

このようにして、自然現象の歴史性もまた、近年においては特に、社会要因と密接に結びついて、災害に関与している。

以上に述べた災害の歴史性にもとづく変遷の時間的スケールは、長期、短期とさまざまであるが、本稿では、1960年代に現われた比較的短期間のスケールの風水害の変貌に焦点をあてることにする。この年代に特に大きな問題になつた公害(大気汚染など。これは気象災害とはほとんどいえないであろう)および上述の意味での気候変動については、触れないことにする。

III. 1960年代の風水害の変貌

風水害をふくめて多くの災害が1960年代にその形態を変えたことは、諸種の文献の指摘するところであるが、西川(1968)は「戦後、特に昭和30年代は、日本災害史上、未曾有の変革期である」といって過言で

第2図 台風の工率（横軸）と死者数（縦軸）の関係（1954年以前，高橋1954による）
黒丸のそばの数字は台風番号または年月日

第2表 台風による死者数と、低気圧・前線の大雨による死者数の年代別変遷

年 代	台 風	低気圧・前線	比 率 %	
			台 風	低気圧・前線
1931～35	4022	730	85	15
1936～40	1238	1124	52	48
1941～45	7160	283	96	4
1946～50	4508	467	91	9
1951～55	3779	3599	51	49
1956～60	7146	1647	81	19
1961～65	899	877	51	49
1966～70	727	885	45	55
1971～75	558	774	42	58

年間にくらべて顕著に減少している（第2表）。倉嶋・原（1972）の分析によれば、この減少は従来の大台風（第2図のAグループ）の死者の70～80%を占めていた大洪水、大高潮、大型船舶の沈没などの災害を治水工事や運航管理の安全対策の強化によって克服したことで、1960年代以降は、1961年の第2室戸台風（1961年18号台風）をのぞいては、大型台風が大都市をおそっていないこと、日本近海に出現する台風の勢力が比較的弱かったこと、などに帰せられている。一方、弱い台風でも死者数が多くなったこと（第3図におけるCグループの出現）は、1960年以後の台風による死者災害中に、山・崖崩れ、土石流などによるものが増大したことに帰せられる。これらの災害は、従来もあつたのであるが、大高潮、大洪水などの大型災害にかくされて、あまり注目されていなかった。大型災害の克服後は、これらの災害が目立つてきたばかりでなく、人口の過密化、宅地造成などによる急傾斜地への生活圏の拡大、道路建設などによる人工崖の増大、レジャー人口の増大による激烈な気象現象との野外における遭遇率の増加、人口過疎地の荒廃などにより、増加しているのである。第3表は矢野（1972）による戦後の各年ごとの風水害の死者数と、その内の崖崩れ・土石流による死者数を示したものである。災害統計の精度には大きな幅があり、この表において、1966年（昭和41年）以前に、崖崩れ・土石流による死者がほとんど無いのは、実状ではなく、多分、災害記録に問題があるのであろう。一般に災害表の数値は、その精度を考慮して、限定的に用いなければならないが、しかし、その点を考慮に入れても、この表から、近年の風水害の死者災害において、崖崩れ・土石流による死者数の占める割合が大きくなっていることは、明りように認められる。この表によれば1968～72年の5年間の風水害による死者1250人中約940人すなわち75%が、崖崩れ・土石流によるものである。また1975年（昭和50年）の台風第5号による高知県の死者災害は「77人の死者・行方不明者中72人までが、山崩れ、崩壊、鉄砲水によるものである。また、ほとんどが下流部のいわゆる浸水被害ではなく、山間部の災害であつた」といわれている（仁淀川流域土砂害調査委員会、第1回委員会・幹事会議事要旨より）。

さらに、1971年（昭和46年）の台風第25号による千葉県の死者56人はすべて崖崩れによるものであつた。この時の千葉県内の崖崩れ箇所は7800箇所に達したが、このうち家屋被害を伴つたのは680箇所、その比率は11：1であつた（嶋，1972）。この数字は、この地方に住宅区域が広がれば、崖崩れによる家屋被害が増大する可能性のあることを示している。そして家屋被害の増大は、当然、死者災害の増加を伴うであろう。

倉嶋・谷川（1975）は、台風による死者数が1960年代に顕著な減少がみられるにもかかわらず、低気圧・前線の大雨による死者数には、第2表に示すように、台風ほどの顕著な減少はみられないことを指摘

している。このことは、台風による死者数と低気圧・前線の大雨による死者数の比によつて表わすと、一そう明りようになる。低気圧・前線による大雨のうちの主なものは梅雨期の大雨であり、その多くは、いわゆる集中豪雨である。そして、その災害の大部分は、近年においては、山・崖崩れ、土石流によるものである。たとえば昭和47年7月豪雨（1972年7月3日～12日）の死者・行方不明440人の93%にあたる408人が山・崖崩れ・土石流によるものであつた。

これらのことは、台風に対する近年の防災的成果にくらべて、集中豪雨に対する防災対策に立ち遅れのあることを示している。

これまで述べてきたような風水害の変貌については、第68国会（常会）提出の政府文書「昭和45年度において防災活動に関してとつた措置」（災害対策基本法にもとづく報告、昭和47年5月19日閣議決定）には、次のように記されている。

「災害の様相は、その原因ならびに発生する場所などによつて多岐多様をきわめているが、最近における災害の特徴として

(1) 戦後における大河川に対する治山治水事業の重点的施行により、大河川による洪水被害が急激に減少してきたこと。

(2) 局地的な集中豪雨の多発により、また各種の開発事業の進展にも関連し、中小河川のはんらん等の被害が増大し、とくに市街地区に甚大な被害をあたえていること、

(3) 集中豪雨による崖崩れおよび山腹崩壊による家屋の倒壊ならびに道路の被害とこれに伴う人身事故が増大してきたこと。

(4) 治山、砂防事業などの進捗に伴う河床低下および海岸浸食傾向により、天然河岸、天然海岸などの決壊が増大したこと。などが挙げられる」

第3表 戦後の風水害による死者数
(矢野1972による)

	風水害による死者全体	内がけ崩れによる死者	土石流による死者
昭和21年	105人	—(人)	
22	1,779	—	
23	1,161	—	
24	1,005	—	
25	781	—	
26	1,245	—	
27	315	—	
28	3,476	—	
29	3,198	—	
30	1,257	—	
31	1,250	—	
32	2,031	—	
33	2,487	93	
34	6,310	—	
35	1,082	—	
36	882	55	
37	284	—	
38	217	—	
39	277	—	
40	339	—	
41	578	39	
42	585	158	207
43	195	5	154
44	162	82	32
45	105	27	22
46	345	171	53
47	443	205	188

(47年度は1月よりの死者数)

IV. レジャー災害の増大

近年における集中豪雨の死者災害中にレジャー中の人が多くなっていることについての2, 3の例を挙げてみよう。1968（昭和43）年の7号台風による死者・行方不明133人中の104人は、岐阜県の飛弾川ぞいの国道41号線で豪雨のため停止していた観光バス2台が山崩れのため濁流に転落したことによるものであつた。この2台は、乗鞍登山の団体客をのせた15台のうちの2台であり、国道41号線には、これらのバスの他にもかなりの数のバスまたは乗用車が、豪雨の中で停車または動いていた。バスの停車位置と山崩れの位置が数mずれていたら、100人の死者は出なかつたにちがいない。また同様に、バスの停車位置と山崩れの位置が異なつた組合せになつた場合には、2台ではなく数台であり得たと考えられる。つまりレジャ

一人口の増大による「災害ポテンシャル」は、著しく高くなっていたのである。また、1971(昭和46)年7月18日午後、兵庫県相生市に降った4時間に185mmの集中豪雨は、22人死亡という人身事故を起こしたが、このうち4人は1963(昭和38)年に開通した高取峠の道路を通って兵庫県の海水浴場から岡山県に帰る団体バスの崖崩れによる転落のため死亡している。この時はバスの他に乗用車が3台転落している。また御津町新舞子では、山の斜面のすぐ下の埋立地に作られた簡易旅館・休憩所など3軒が山崩れにより押しつぶされ、海水浴客約40人が生き埋めとなり11人が死亡した。

気象災害においてレジャー関係の人身事故が多くなっている事実は、落雷による死傷者についても、倉嶋・谷川(1974)によって確められている。

V. 都市水害の変ぼう

前項までに述べた近年の気象災害の特徴は、しばしば「ゲリラ的」と表現される。この言葉で表現される内容は、その生起の突発性、意外性、局地・小規模・激じん性、群発性などである。集中豪雨の多くは台風、梅雨前線などの総観規模(水平幅1000kmのオーダー)の気象じょう乱に伴うものであるが、現象そのものは中・小規模(10km~100km)であり、寿命は数時間から半日程度である。そして、その生起の背景となる総観場は予想できるが、個々の現象の生起時刻と場所を予想するのは困難である。その意味で集中豪雨そのものが「ゲリラ的」なのであるが、その上に土石流、崖崩れの「ゲリラ性」が相乗されて、集中豪雨災害の「ゲリラ性」が作られている。本項では都市の水害の「ゲリラ性」について考察してみよう。

都市の水害の変ぼうは、次の諸要因によって引き起こされている。(1)従来は洪水時に遊水池の役割をしていた氾濫地へ、密集住宅域が拡大したこと(2)アスファルト舗装、排水路の整備、ショートカット方式による河道改修などにより都市河川の出水が早まり、ピーク流量が増大し、流出波形が尖鋭化したこと(3)道路網の整備によってその数を増したコンクリート永久橋が、高水時に流水などをせきとめ、一時的にダムに類似した現象を引き起こすこと(4)住民の入れ替えが激しく、水害危険地帯の住民が、危険性を認識していない場合が多いこと、

ゲリラ的都市水害の1例をあげてみよう。1974(昭和49)年7月20日11時ごろ、新宿区内の神田川と妙正寺川の合流地点で、突発的、かつ局地的に1mを越す溢水があり、611世帯が床上浸水するという被害が発生した。被災地は山手環状線に近い住宅等の密集地帯で、被災区域はきわめて限定されたせまい地域であつたが、その中で災害は激しんで、水深1.6mの冠水路上で水没した乗用車から運転手が救助されとか、アパートの2階に取り残された子供が救助されるなど、あやうく死者の出る場面が続出した。しかも降雨から数時間後には、街は平常の人通りにもどり、水害のあつたのを気づかずに通る人もあるほどであつた。東京都は、この災害に対して8年ぶりに災害救助法を適用した。この時の雨量分布を第4図に、また被災地付近の雨量と水位変化を第5図に示す。この水害を起こした強雨の範囲は直径10~20kmの、きわめてせまいもので、しかも降雨の直後に水位のピークが現われて、すぐに減水している。なお、この時に気象庁予報部が東京地方に対して行つた警戒は、10時10分雷雨注意報、10時45分大雨雷雨注意報であつた。これらの注意報は、この日の午後再度起こつた雷雨に対しては事前の注意報であり得たが、水害を起こした雷雨に対する警戒としては、現象の生起を追いかけたものであつた。

ところで、この水害は、きわめて突発的に起こつたが、上流部の強雨によってこの地域に水害が起こる可能性がきわめて大きいことは、よく知られており、東京都の水防計画書の資料などには明記されていた。神田川のこの地域の部分は、「戦前改修された区間であるが、その後の上流支流の改修、あるいは上流部流域の異常なまでの都市化現象により、降雨の河川流出分が激増し、1時間30mm程度の降雨により氾濫し、浸水、冠水の事態に至るのが常であつた」(東京都建設局1971)のである。したがって、この付近の河川の再改修が必要となつていた。しかし、左右岸とも住宅が密集し、しかも国鉄山手線、西武新宿

第6図 狩野川台風（1958年9月）による浸水図（東京都建設局による）

第7図 1966（昭和41年）6月の台風第4号による浸水図（東京都建設局による）

第8図 1973（昭和48）年の水害分布図
（東京都建設局による）

し、「山の手水害」は依然として残っている。第8図は1973（昭和48）年の水害地点を示すが、すべてが「山の手水害」であることが特徴的である。

VI. 日本に来襲した台風の勢力の変化および上陸時刻の変化について

前節までに、日本における風水害の様相の変ぼうの特徴として、(1) 台風による死者災害の減少 (2) 集中豪雨による死者災害の相対的増加 (3) 災害のゲリラ化などの諸点をあげ、これらを主として社会要因によって説明した。しかし、台風による死者災害の減少の一因としては、社会要因の他に自然要因として、近

年は、枕崎台風、狩野川台風、伊勢湾台風のような超大型の台風が、大都市を直撃していないことも考慮すべきである。

第9図は、飛行機観測により台風の中心気圧がかなりの精度で推定できるようになった1951(昭和26)年から1974(昭和49)年までの24年間で、日本近海(40°N 145°E, 36°N 145°E, 33°N 143°E, 28°N 130°E, 28°N 125°E, 34°N 125°E, 40°N 136°Eの各点を結ぶ線で囲まれた海域)に現れた各年の台風の最低気圧を図示してある。また日本近海で中心気圧が940 mb以下を示した台風の個数が黒丸によって示されている。この図によると、最近24年間の前半の12年間(1951~62)には、各年の日本近海における最も強い台風の中心気圧の平均は939 mbで、940 mb以下の個数は10個であるが、後半の12年間は、最低中心気圧の平均は951 mbで、940 mb以下の台風の個数は3個であり、最近になって日本近海には強い台風の出現が少なくなっていることが示されている。

第10図は北太平洋における各年の台風の最も深かった中心気圧を示し、第11図は北太平洋における中心気圧940 mb以下の台風の個数の経年変化を示す。これらの図では、北太平洋の台風の強さが、最近において弱くなっている、という傾向は現われていない。これらの図から、最近において強い台風が少なくなつたのは、日本近海についていえることであつて、北太平洋全体にはあてはまらないことがわかる。

近年の台風による死者数減少の一因として1959(昭和34)年以前と1960(昭和35)年以後とでは、強い台風の上陸時刻または主要災害の発生時刻が、前者は夜間が多く後者は昼間が多かつたためとする水谷(1976)の指摘がある。水谷によると、工率 10×10^{24} erg/secを超える大型台風は1946~59(昭和21~34)年の14年間に6個来襲したが、そのうち4個は夜間に来襲しており、1960~71(昭和35~46)年の12年間には5個来襲しているが、そのうちの4個は昼間に来襲している。風水害の死者数は、昼間と夜間とでは格段の相違が生じることが多いことは事実であり、その点で上記の水谷の指摘は注目すべき指摘といえよう。

第9図 日本近海に出現した時の台風の最低気圧の経年変化
上段の黒丸は940mb以下の台風の個数、カッコ内の数字は、それぞれ前半および後半12年間の台風の最低気圧の平均

第10図 北太平洋の台風の最低気圧の経年変化
カッコ内の数字は、それぞれ前半および後半12年間の台風の最低気圧の平均

第11図 北太平洋の940 mb以下の台風の個数

第4表 ハリケーンの死者数と損害額の年代別変遷
(倉嶋・谷川 1975)

年	死 者 数	損 害 額
1900~1909	6604	100万ドル 33.0
1910~1919	1225	95.4
1920~1929	2113	144.0
1930~1939	1132	364.7
1940~1949	525	497.6
1950~1959	819	1944.3
1960~1971	604	5015.0

(注) この表によると、この70年間に死者は10分の1に減り、損害額は100倍になっている。1920年代には財産の損害額1000万ドルあたり死者147人であるが、1960年代以後は1000万ドルあたり死者1.2人である。死者数が少なくなり損害額が増大しているのが“先進国型台風災害”の特徴といえる。

第5表 アメリカ合衆国におけるトルネードの死者災害の変遷
(倉嶋・谷川 1975)

年 代	報告されたトルネード総数	トルネードによる死者総数
1921~1925	564	1616
1926~1930	866	1229
1931~1935	830	909
1936~1940	787	916
1941~1945	729	980
1946~1950	902	813
1951~1955	2087	940
1956~1960	3168	445
1961~1965	2413	481
1966~1970	3396	485

(注) トルネード対策が行われ始めた1950年代から、トルネードの報告数は増大し、死者数は減少している。

VII. 台風、集中豪雨とハリケーン、トルネードの死者災害の比較

これまで述べてきた日本の風水害の変遷を、アメリカにおけるハリケーン、トルネード災害の変遷と比較すると、大へん興味深い対応関係が見られる。

アメリカにおけるハリケーンの死者数は、第4表に示すように1940年代以降の減少が顕著である。この減少は、日本の台風の死者数の1960年代の減少に対応するものと考え、そこに約20年の年代差がある。

1940年代以降のハリケーンの死者災害の減少の原因としては、G. P. CRESSMAN (1969) は、1945 (昭和20) 年以後、飛行機観測によるハリケーンの発見と追跡が行われたこと、ハリケーン予報法が進歩したこと、気象資料のない海上からのハリケーンの急襲が、気象衛星の観測によって防げるようになったことなどをあげている。

第5表はアメリカにおけるトルネードの死者災害の変遷を示す。この表に表われている1950年代後半のトルネード死者数の明りような減少は、1953 (昭和28) 年以降、商務省 (アメリカの気象事業の所属省)

がトルネード予報に力を入れ始めたことに対応するもので、そのことは、報告されたトルネード数が1950年代に不連続的に増加していることにも現われている。これはむしろ、トルネードの発生数そのものが増加したのではなく、トルネードを監視する網が細密になったためであり、トルネードに対する人びとの関心が高まったことによるものである。

アメリカのトルネードと日本の集中豪雨を、防災気象情報の対象として考えるとき、次の類似性を指摘することができる。

- (1) 局地的対流現象であること
- (2) 寿命が短いこと
- (3) 災害が局地的であるが激進であること
- (4) その生起の背景となる総観場は予想できるが、個々の現象の生起時刻と場所を予想することは、きわめて困難であること

アメリカのトルネード予警報は、次の諸成分で構成されている (Executive Office of the President, Office of Emergency Preparedness 1972)。

- (1) 激しい雷雨やトルネードの発生しそうな地域の24時間予報
- (2) 27,000平方mile (およそ263km 平方) の広さの地域内のどこかにトルネードが発生しそうだということを1時間前 (時には2～3時間前) に警告する tornado watch
- (3) 発生したトルネードが人間またはレーダーで見つけられた時に、その位置と今後の予想進路を知らせる tornado warning
- (4) トルネードが発生した場合、それらがさらに続けて群発するものか、それともその段階で衰えてしまうものかの判定。

そして、これらのことが効果的に行われるために

- (1) 主としてトルネード発生のパテンシャル予報の現業と研究を行う特別な機関 National Severe Storm Forecast Center (略称 NSSFC) の設置。
- (2) トルネードを早期に発見するためのレーダー観測網の整備。篤志的に参加している数千人の市民、団体などから構成されるトルネード特別観測網 Project SKYWARN の組織。
- (3) 予想作業を迅速に行うための気象通信網の整備。
- (4) tornado watch, tornado warning を迅速に伝達するための警報システムの整備。
- (5) watch, warning に対応して直ちに避難が行われるためのトルネード対策についての 広報・普及キャンペーンの実施。地方自治体などにおけるトルネード防災計画の立案と実施。
- (6) トルネードに耐える住宅の建設、避難場所の建設。

などが行なわれた。

以上の施策は、方法論的には、日本において現在、模索され実行されつつある集中豪雨の予報・警報の改善策にきわめてよく似ている。

日本の集中豪雨予警報対策は1953 (昭和28) 年6月の北九州の水害 (死者・行方不明1014人)、同年7月の和歌山県を中心とする水害 (死者・行方不明1015人) とどを契機に、水理水害対策用の雨量観測網の展開、レーダーの導入、集中豪雨の特別観測などが行なわれてきたが、気象技術者の間には、集中豪雨の予・警報は現行の予報技術の可能限界外のものであり、気象サービスとしてそこまで責任を負うべきではないという考えが根強く残っていた。たしかに、総観規模の天気図解析と、総観規模の現象の力学を基礎とした数値予報を主要な武器としている予報技術の当時の状況、および速報性・確実性において十分には機能しない当時の雨量観測網からすれば、集中豪雨の予報は不可能である、とする考え方にも一理があった。

集中豪雨の予報についての、この種の消極的態度を克服することの必要性が強調され始めたのは1970年

代にはいつてからである。その直接の動因は、すでに述べたように、1960年代の高度経済成長に対応して生活環境の中に現われた一種の“ひずみ”，生活圏の急傾斜地への拡大，気候の長期変動などを背景として，集中豪雨による斜面崩壊，都市河川・中小河川のはん濫などによる災害が続発し，集中豪雨の予・警報に対する国民からの厳しい批判と期待が，国会や報道機関などを通じて気象庁に寄せられたことである。一方，技術的には，次のような背景がある。

- (1) 特別観測などを通じて，集中豪雨の実体の解明が進んだこと。
- (2) 集中豪雨のポテンシャル予報の可能性に，ある程度の見通しができたこと。
- (3) レーダー観測資料のテレファックスによる伝達が始まったこと。
- (4) 1971（昭和46）年5月公衆電気通信法の一部改正によつて電々公社の電話回線がデータ通信に開放されたことにより，比較的細密な自動的雨量観測網の観測結果をリアル・タイム，オンラインで集配信する地域気象観測システムが展開され始めたこと。

現在，集中豪雨の防災気象情報系は，次の諸項で構成されることについては，おおかたの意見の一致が得られていると思われる。

- (1) ポテンシャル予報。
- (2) 早期発見（レーダー，地域気象観測システム，部外雨量通報）と追跡。
- (3) 一過性雷雨か集中豪雨かの迅速・的確な判別。
- (4) きわめて短いライフタイムの現象を速報できる実況放送に近い伝達体制。
- (5) その伝達に即応して機能する防災活動と避難行動。

これらの諸項を気象事業の部内で系統だてて，その内容の確実化と伝達の迅速化をはかり，さらにこれを各防災機関の防災情報系に結びつけるのが，現在の課題といえよう。

第5表に示されている1950年代後半のトルネード死者数の減少は，上記のような日本の集中豪雨の防災気象情報システムを発展させようとする試みに，有力な支持を与えてくれる。また科学技術史的に見る時，アメリカにおいては，ハリケーンの死者数を減少させた1940年代の中ごろから約10年後の1953（昭和28）年にトルネード予報対策の本格的取り組みが行われ始め，日本では台風による死者数を減少させた1960年初めから約10年後の1970年代の初めに集中豪雨対策の本格的取り組みが行われ始めたことは，単なる偶然ではないように思われる。

VIII. 台風と集中豪雨の予報の精度と防災活動

前項までに，近年における風水害の変貌とその原因を，防災気象情報システムと関連させて考察した。本項では，防災活動を行う場合の基本情報の一つとなつている気象情報は，現在，どの程度の精度を持っているかについて述べたい。防災活動の成否には，精度に限界のある（あるいは，精度が必ずしもよくない）防災気象情報の利用について，各方面の各級の防災関係者の間に，理解と意見の一致が必要である。そうでないと，防災気象情報への過度に敏感な対応と，その裏返しとしての無視によつて，防災気象情報はいわゆる「狼少年的警告（cry-wolf）」扱いをされて，結局は防災効果が著しく減じることになる。したがって防災気象情報を発表する側も使う側も，気象情報の精度を十分に認識している必要がある。

(1) 台風の進路予報の精度

現在，日本においては，台風の24時間進路予報は扇形で発表されているが，その中心軸の先端を24時間後の位置として，実際の24時間後の位置との距離を誤差として，進路予報の精度を調査したものに第6表がある。これは1970（昭和45）年に行われた24時間進路予報102回について調べられたもので，誤差の平均値は226km，標準偏差は109kmであり，予想回数の60%は誤差225km以内である。しかし誤差300～400kmの場合が25%もある。これは台風の中心が東京に来ると予想して，実際には大阪から名古屋方面に行く場合に相当する。1972（昭和47）年の台風予報についても同様の調査が行われたが，成績の向上は認め

第6表 台風予想の精度(東京湾安全対策報告書より)

誤差のクラス	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
誤差の幅 (km)	50 (0~75)	100 (75~125)	150 (125~175)	200 (175~225)	250 (225~275)	300 (275~325)	350 (325~375)	400 (375~425)	450 (425~)
出現度 %	10	16	14	21	13	10	9	5	4

(1970年, 24時間予報)

られなかった。

第12図は1970~72(昭和45~47)年の3年間の台風予報の誤差の度数分布を示す。ここに角度差とは予想扇形の中心軸と実際の進行方向のなす角度をいい、速度比は予想速度と観測速度の比を%で表わしたものである。角度差の標準偏差は12時間予報で20°, 24時間予報で24°ぐらいである。このことは、第12図の分布を正規分布とみなすならば、台風が扇形内を進む確率を約70%にとるためには、扇形の角度は中心軸から左右にそれぞれ20~24°ぐらいにする必要があることを示している。扇形は文字通り「末広がり」であり、たとえば沖縄付近で北東に進む台風の進路を左右20°の扇形進路で表現すれば、日本の南岸は関東地方から九州まですべて上陸予定地点になってしまう。これは防災活動にとつては、きわめて悪い精度といわなければならない。

では、このような台風の前報精度は、アメリカのハリケーンの前報精度にくらべると、どうであろうか。1956~59年のハリケーンの前報精度は158海里(約293km)であつたが1968~71年には106海里(約196km)に向上した。また上陸地点の前報誤差は平均100海里(約185km)であり、将来はこれを75海里(約139km)まで縮めたい考えであるという。また高潮警報の出される対象海岸線の幅は200~250マイル(約322~402km)であるが、これを150マイル(約241km)以下に縮小できれば、緊急防災対策につぎこむ金を、年にして数100万ドル節約できるといわれている。第13図はアメリカのハリケーンの前報精度の1例を日本付近の地図上に移してみたものである。破

第12図 台風予報の誤差分布(気象庁予報部1974)

第13図 ハリケーン前報の例

線の長円は、それぞれ 24, 48, 72 時間後に 50% の確率でハリケーンが進んでくると予想される区域を示す。これを日本流に扇形表示になるおしてみると、台風予報の精度と大差がないことがわかる。日本でもアメリカでも、この程度の予報精度の予報を利用して、防災効果をあげてきているのである。日本における 1960 年代以降の台風死者数の激減の一因として、防災気象情報の発展があつたとすれば、それは多分、台風の進路予報の精度がめざましく向上した点にあるのではなくこの程度の精度の台風情報によつても、広範囲に地域ぐるみで警戒に立ち上がるという合意が国民の間にでき、その合意を前提とした地域防災組織に、防災気象情報が組みこまれたことにあると思われる。防災気象情報の、この方向への歩み出しの契機となつたものは、1959 (昭和 34) 年 9 月の伊勢湾台風であつた。この台風の予報は大局的にはかなりの確であつたにもかかわらず、大災害が起こつた。この災害をめぐつて防災行政上の反省点として指摘されたのは、各官庁が縦割りの所轄業務のわく内で、相互に調整されることなく、ばらばらに災害対策を実施しているため、全体としての実効性が弱められ、伊勢湾台風のように、人間社会が自然の力に大きく破れた時に、その欠陥が非惨な結果として露呈した、ということであつた。そして災害対策基本法の機運が高まつた。この法律は約 2 年間の審議の後、1961 (昭和 36) 年 10 月に制定され、1962 (昭和 37) 年 7 月に施行された。これにより、それまで相互に関連の少なかつた各防災行政が、国および地方自治体の防災会議の設置、防災計画の作成を通じて総合性、計画性を得ることになり、更に災害緊急事態には地方自治体では災害対策本部、国でも非常災害対策本部、緊急災害対策本部を設置し、総合的防災活動を実施するようになった。気象庁、気象台も、この法律による指定行政機関、指定地方行政機関として、総合的・計画的な防災行政および防災活動のわく組みの中に組み込まれ参加することになったのである。これは防災気象システムの発展にとつても、画期的な転機であつた。

(2) 集中豪雨予報の精度

すでに述べたように、集中豪雨の予報は、(a) 集中豪雨が起る可能性の大きいことを 12~24 時間前に知らせるポテンシャル予報、(b) 局地的大雨の早期発見と、それが一過性の単純熱雷か悪性の集中豪雨かの判別、(c) 集中豪雨域の追跡と、それにもとづく短時間 (1~数時間) 予報 の 3 段階にわけられる。このうち、地域と時刻に具体性のある予報は (b) (c) 段階であるが、これはすでに現象が始まつている段階であり、その情報は、いわば「実況放送」に近い性質のものである。

事前の予報は (a) 段階のものである。これは低気圧、前線、湿舌、不安定領域などのような総観規模の現象 (通常の天気図に描き出し得るような、1000km 幅程度の「気象じょう乱」) の予測によつて行われるが、実際に起る集中豪雨域よりもはるかに広い範囲に対して、その生起の可能性を、限られた精度で一般的に指摘し得るにすぎない。したがつて、この段階の予報は、防災機関が、これによつて直ちにその活動を準備するには、危険予想地域があまりにも広すぎ、また、その内容の具体性がとぼしすぎる、といわれてきた。台風予報も前述のように、実際よりはかなり広い範囲に対して警戒を呼びかけるが、災害を起こす「気象じょう乱」そのものの姿ははつきりしており、その動きは 1~6 時間おきに報道され、その都度、予報も実況の変化に応じて更新されていくので、防災活動の方も、それなりの対応ができる。しかし集中豪雨の場合は、その生起以前の段階では、台風情報のようなステップを踏んでの内容の更新と具体化は出来ないのである。集中豪雨予報はできない、といわれてきたのも、この点にあつたといえよう。そして崖崩れ、土石流のような突発的な局地的激しん災害に対しては、それを予知して防ぐよりは、防止施設による準恒久的対策の方が先決ではないか、とされてきたのであつた。しかし、一方では、次のような現実があつた。

1972 (昭和 47) 年の調査によると、土石流発生危険溪流は 35,000 溪流、地すべり 1,000 箇所、崖崩れ危険箇所 60,000 もある。これに対し砂防施設の整備などの概成溪流数は昭和 50 年度末で、1,432 溪流で進捗率は 4.1%、昭和 51 年度末で 1,798 溪流で進捗率は 5.2% で、年間進捗率は 1.1% である。このような現状から最近では、これらの危険箇所に対し「国家財政等より防止施設による ハードな対応の限界論がようやく関

係者の間で活発化しはじめ、予知、警戒、避難体制といったソフトな対応の必要性が認識され」（近森 1976）てきたのである。このようなソフトな対応の具体的な内容は、多分、（1）斜面崩壊、土石流などの発生機構や災害実態の研究を推進すること（2）前項の研究結果にもとづいて土石流等の危険地域を表示すること（3）警戒・避難雨量、避難場所、避難行動手順、交通規制基準などを設定すること（4）前項の各種情報を地域住民へ提供し、住民の自衛意識を確立し、その体制作りを促進すること（5）雨量計、警報器等を適正に設置し有効に利用すること、などであろう。

前述のように、現行の集中豪雨予報、とりわけ事前のポテンシャル予報は、集中豪雨の生起時刻と生起地域を特定する能力に乏しいため、これによつて、上記のきわめてせまい地域ごとの個々の避難行動を起こすことはできない。実際の避難行動は、現地の住民または防災担当者の観測（目視、体感、雨量計、水位計、警報装置など）と総合判断によるのが实际的である。このような「現地の雨量計」を、避難行動のための「最終アラーム」とみなすならば、気象官署の行う予報や警報は、その「予鈴」の役割を果たすであろう。それでは、「予鈴」としての集中豪雨予報は、集中豪雨の生起の空間に時間を、どの程度まで特定し得るであろうか。現行のポテンシャル予報法のうち、その客観性の明瞭なものに MOS 方式（Model Output Statistics の略）による POHP 予報（Probability of Heavy Precipitation の予報）がある。最近の集中豪雨の 1 例を通じて、この予報がどのようなものであるかを述べてみよう。MOS 方式とは一言でいえば「数値予報の格子点における予想値を予測因子として、統計的に天気の状態を導くもの」（立平 1976）であり、その結果は、たとえば「〇〇地方の明日の降雨確率は××%」というように確率的に表現可能なのが、この方法の特徴の一つである。

現在、大気の力学および熱力学の理論式にもとづく数値予報においては、第14図に示すような 150km 間隔の格子点の各種の物理量（気温、気圧、水蒸気量、風向、風速、上昇気流その他）の各高度の予想値が得られる。過去において、ある値の予想値が得られた時に、実際の天気はどうであつたかを、多くの例について統計的、系統的に調べておく。そうすれば、今度、その値が予想された時は、予想日の天気を表現することができる。これが MOS の原理であるが、実際には予測因子に使われる物理量は、当該現象のメカニズムに適合するように各種物理量を組合わせたものを用いるなど、さまざまな工夫がほどこされる。POHP は各格子点から半径約 100km 以内に強い雨が降つたか、降らなかつたかと、その格子点の各種物理量の予想値との関係を、過去の資料を使って多重相関法によつて予報式にしたものである。これにより大雨生起確率が何%になるかが、各格子点ごとに求められ、それにより等値線を引くと、大雨生起の確率の高い地域を特定することができる。もちろん、もともと 150km 間隔の格子点から出発しているから、「地点特定（ピンポイント pinpoint）」をすることはできないが、200～300km 幅の地域を特定することができる。

第14図 数値予報で各種物理量が求められる格子点

1976（昭和51）年7月11日に伊豆半島を中心として静岡地方に大雨が降つた。雨の降り方は第15図に示すように、きわめて集中的であり、伊豆半島では崖くずれや小河川の氾らんにより死者・行方不明 15人、道路損壊、橋梁流失、鉄軌道被害などの災害が起きた。通常の天気図で見ると、この大雨は、日本の南岸ぞいに東西に伸びる梅雨前線を東進する小低気圧の前面で降つたもので、前日の天気図では、このような集中豪雨が日本のどこかで降ることは予想するのは困難であり、たとえそれができたとしても、そ

第15図 1976（昭和51）年7月11日の日雨量図（750mm）

すなわち第16図と同じ11日09時の対流圏中層（600 mb、高度約4 km）での水蒸気量を第17図のように予測している。これを第16図の湿潤域とくらべる時、両図の高度面は異なるとはいえ、日本上空への水蒸気の流入の様子は、かなりの確に予測されていた、といえることができる。しかし、これによつて集中豪雨域を伊豆半島に特定することは困難である。この図から予測される集中豪雨の生起の可能性が相対的に大きい所は西日本の太平洋側、東日本、北日本であつて、大へんばく然としたものである。MOS方式によるPOHP予想は、大雨生起率の高い区域を、もうすこし小範囲に特定する。第18図から第21図は、10日21時の観測資料を初期値とした場合の大雨生起確率10%以上が予測される区域を示してある。第17図の湿潤気流流入予想域にくらべると、POHPの大きな区域は、いくつか分割されているが、中でも伊豆半島周

の区域を伊豆半島に特定することはほとんど不可能であつた。降雨日当日の850 mb面の気流系と湿潤域および地上の前線系を第16図に示す。これには梅雨前線の小低気圧の進行前面で、前線にむかつて気流が収束して吹きこんでおり、いわゆる湿舌を形成している。ただし、これは当日の実況図である。実際の予報は、大気の流れがこのようになることを前もつて予測しなければならない。それができたであろうか。前日の09時を初期値とする数値予報では、この状況は十分には予測されていなかった。しかし前日の21時を初期値とする数値予報では、12時間後、

第16図 850 mb面（約1500 m上空）の気流系と湿舌（陰影部分、気温露点差 3°C 以下の区域）。前線は地上天気図の梅雨前線、×印は地上天気図の低気圧の位置。
1976（昭和51）年7月11日09時

第17図 1976（昭和51）年7月11日09時に対する600 mbの比湿（g/kg）の予想図（初期値は7月10日21時）

第18図 1976 (昭和51) 年 7 月 11 日 00～06 時に対する大雨確率予想図 (初期値は 7 月 10 日 21 時, 10% 以上の区域のみを示した。以下 21 図まで同じ)

第19図 1976 (昭和51) 年 7 月 11 日 06～12 時に対する大雨確率予想図

第20図 1976 (昭和51) 年 7 月 11 日 12～18 時に対する大雨確率予想図

第21図 1976 (昭和51) 年 7 月 11 日 18～24 時に対する大雨確率予想図

辺を中心として東海地方に POHP の 10～20 % 域が 1 日中、ほぼ固定して現われているのが特徴的である。このことから POHP 予測では伊豆半島方面の大雨をかなりの程度に特定し得た、といえる。

ただし、生起率 10～20% という値は、一見、あまりにも小さすぎる、と思われるかもしれない。ところが、現在の予測式では得られる生起率の最も大きな値でも 50% 程度である。このことは POHP だけで大雨注意報や大雨警報を行つたとすれば、精度の高い場合でも長い間には、50% は適中するが 50% は「警戒しすぎ」になることを意味している。つまり注意報や警報が、“Cry-wolf” になる危険性をふくんでいる。しかし、大雨の降る気候学的確率は、一般に 2～3 % 程度である。したがって生起率 10～20% の予測にふくまれる情報量は、大へん大きいといえるのである。また第18図から第21図の場合には、伊豆半島

付近には、1日の各時間帯について、常に10~20%の生起率が現われている。したがって1日全体の大雨確率はかなり大きくなるはずである。このような POHP 予報の持つ豊富な情報量を、防災効果の向上に結びつけるためには、迅速なデータ伝送システムと、適切な防災気象解説および気象情報の内容・精度に対する防災担当者の正しい理解が必要になる。POHP は他の予報資料と組合せて総合判断することにより、その利用価値は一そう高まるであろう。POHP の利用の一方法としては、とくにその値が相対的に高く予想されている区域に、対流性の雨が降り始めたら、それは大雨になる可能性があると考えて、その後の監視を強め、同時に注・警報の発表の検討を開始すること、などがある。

IX. む す び

以上、本文においては、近年の風水害の様相の変化と、これに対応する防災気象情報の発展について述べ、とくに近年の風水害が、いわゆる“ゲリラ性”(突発性、意外性、局地・小規模・激じん性、群発性など)の性格を強めたことと、これに対応する防災気象情報は短時間予報(0~6時間予報)または実況報(ナウ・キャスト nowcast)にならざるを得ないことを強調した。そして実際の避難行動は、現実の雨量または水位の警戒値到達を知らせるアラーム装置によって行われるのが現実的であり、防災気象情報はその「予鈴」的役割を果たすことを指摘した。また近年における台風による死者数の減少に関連して、伊勢湾台風の災害を契機として得られた、「台風災害と闘う」という国民的合意が重要な役割を演じたことを強調した。この国民的合意は、災害対策基本法およびこれに基づく地域防災計画として、現在の社会に具現されているのであるが、この合意は今後も忘れられることなく、その内容がますます高められなければならないであろう。

本文の原稿作成後に、昭和51年台風第17号の災害が起こった。この台風の特徴としては、(1)九州に接近中も大型で強い台風であったこと、(2)九州の南の海上で速度をゆるめ、9月10~12日のやく3日間もこの海域にとどまったこと、(3)沖縄の南東海上にあつたころから、台風周辺の湿潤気流と日本付近の前線の影響で関東以西の広範囲に局地的大雨が群発し始め、さらに九州南の海上に停滞中は継続的に湿潤気流が日本に流入したため、降雨期間が長びき、8~13日の6日間の総雨量は岐阜県、三重県、四国では1000~2700mmに達したこと、の3点があげられる。そして各地で山・崖崩れ、土石流、堤防決壊などの災害が起こり、被害の範囲は1道1都2府41県に及んだ。死者は全国で154人を数えたが、死者災害の起こった範囲も2府19県に及んだ。死者の内訳は、警察庁の資料によると、山・崖崩れ、土石流によるもの129人(84%)で、川の増水(転落など)によるもの18人(12%)、その他が7人(4%)であった。山・崖崩れの死者が多かった点は、本文で述べた近年の風水害の特徴の通りである。また東京では都市河川の急激な増水による浸水被害が起こったが、これも本文の分析と合っている。ただし、台風17号の災害のもう一つの特徴としては、一級河川の長良川の堤防決壊があげられる。本文においては、近年の風水害の特徴として、大河川の洪水がある程度ふせげるようになったことをあげたが、台風第17号は一級河川が決して安全ではないことを示したのである。1974年には台風第16号により東京の多摩川が決壊し、1975年には台風第6号により北海道の石狩川が決壊した。3年つづきで1級河川が決壊したのである。災害の様相は今後とも変わっていくと考えるべきであろう。そして、その変化を先取りして対策を立てるのが防災の要諦といえよう。

参 考 文 献

- 青木 孝 (1974) : R. H. シンプソン : ハリケーンの予報—その進歩と問題点—。測候時報, 41, 5, 123-128.
近森藤夫 (1976) : 土石流の発生機構とその対応。災害復旧事務講義集 (全国防災協会), 169-176.
気象庁予報部 (1974) : 予報作業指針その5「台風予報」, 1-182.
日下部正雄 (1959) : 西日本災異誌。研究時報, 11, 425-465.

- 日下部正雄 (1960) : 史料からみた西日本の農業気象災害 (1) 年代による災害の種類の変遷. 農業気象, **15**, 102-104.
- 日下部正雄 (1962) : 北海道災異誌. 研究時報, **14** : 307-336.
- 日下部正雄 (1961) : 史料からみた北海道の気象災害. 天気, **8**, 403-409.
- 日下部正雄 (1968) : 19世紀末までの四国の気象災害. 研究時報, **20**, 502-526.
- 日下部正雄 (1973) : 19世紀末までの関東地方の気象災害 (その1~2). 研究時報, **25**, 385-403, 429-447.
- 日下部正雄 (1975) : 19世紀末までの中部地方および三重県の気象災害 (その1~その4). 研究時報, **27**, 81-96, 119-125, 159-173, 203-217.
- 倉嶋 厚・原 達也 (1972) : 死者数からみた気象災害の変遷について. 研究時報, **24**, 317-332.
- 倉嶋 厚 (1974) : 現代の気候変動論とその社会的意義—気候変動調査研究会報告をめぐって—, 電力気象連絡会 (プリント), 1-18.
- 倉嶋 厚・谷川良次 (1974) : 雷による人身事故の変遷について—ゴルファーの落雷事故が急増している—. 研究時報, **26**, 323-326.
- 倉嶋 厚・谷川良次 (1975) : 台風, 集中豪雨とハリケーン, トルネードの死者災害の変遷の比較. 研究時報, **27**, 153-158.
- 倉嶋 厚 (1975) : 近年の台風による死者数減少の一因について. 研究時報, **27**, 371-372.
- 水谷武司 (1976) : 最近における風水害被害の現われ方. 気象, **232**, 4568-4571.
- 宮村 忠 (1973) : 河川災害の諸相. 地理, **18**, 9, 29-37.
- 中山 嵩 (1976) : ファイン・メッシュ・プリミティブ・モデルと大雨予想. 天気, **23**, 6, 297-305.
- 中山 嵩・立平良三 (1976) : 大雨ポテンシャル予報に有効な予測因子. 昭和50年度全国予報技術検討会資料 (1). 気象庁予報部. 66-70.
- 根岸弘道・西田武文 (1976) : 水位雨量等の情報伝送処理システム. 洪水, **15**, 115-126.
- 西川 泰 (1968) : 戦後期の日本災害史における意義. 防災科学技術, No. 6, 1-3.
- 西川 泰 (1971) : 地盤からみた宅地防災. 防災科学技術, No. 19, 9-12.
- 奥田 穰 (1964) : 災害の歴史性と地域性. 災害論 (佐藤武夫・奥田 穰・高橋 裕著, 勁草書房刊), 23-42.
- 嶋 祐之 (1972) : 昭和46年台風25号による千葉県下土砂災害について. 文部省特定研究 (昭和46年度) 災害科学「昭和46年台風25号による千葉県下災害の実態調査」報告書, 1-10.
- 高橋浩一郎 (1954) : 日本の風水害について. 予報研究ノート, **5**, 312-340.
- 立平良三 (1975) : MOS について. うず, **30**, 1-3.
- 立平良三 (1976) : 雨量予報の技術開発. 札幌管区気象台「技術時報」, **87**, 14-17.
- 東京都建設局 (1971) : 東京の中小河川. 1-107.
- 矢野勝正 (1971) : 災害科学の総論的展望. 京都大学防災研究所年報, 第14号B, 1-16.
- 矢野勝太郎 (1972) : 昭和47年災害の状況とその問題点. 施工技術, 5巻11号, 65-71.

(1976年9月21日受理)