

皮肉な結果も出ている。

近年では、浸透性舗装・屋上貯留・地下貯留・棟間貯留・治水緑地・多目的遊水池など、様々な洪水制御方式が真剣に取り上げられるようになってきている。しかしこのような傾向を、かつて40年代に各地で多発した新興

宅地の水害原因を、何百年もの経験によってつちかわれた洪水調節技術を多分に取り込んだ農業用排水組織に起因させ、それを非科学的と決めつけた多くの河川工学者は、果してどのように受け取めているであろうか。

407 (都市化と風災害)

都市化と風災害*

光 田 寧**

1. はじめに

人類が集落を作って住むようになり、財産が都市に集中するようになった時から自然災害から都市を守ることが必要となり、都市の発展と共にその災害防止は大きな問題となってきた。風災害といっても風による直接的な破壊のみでなく、それに関連した2次の災害、風のための機能障害、例えば道路の通行止のための損失といったもの、さらには現実には被害は無くても災害防止のための準備作業のために用いた費用といったものまで考えると非常に多岐にわたる。そして都市では特に間接的な損害の割合が大きくなる。しかし、ここではとりあえず破壊を伴うような事について考えてみる。

2. 都市と気象の相互作用

都市の巨大化と共に、都市の存在によって気象環境が変化しそれによって災害様相が変化するかどうかを問題とせねばならないところまで来ている。すなわち、日本の大都会における都市域では、人工的な発熱は太陽放射による受熱と同程度かそれ以上の量に達しており、上水道による水の供給量は雨量と同程度の量を示している。一方、都市域の大きさは1つの積乱雲の直径よりもずっと大きな規模になっている。従って気象現象と都市との相互作用を無視するわけには行かないはずである。

都市内での平均気温の上昇、湿度の低下、あるいは大気質の汚染については既に多くの研究がなされているが、災害の原因となるような強烈な気象現象と都市との相互作用について研究された例はあまり無い。

竜巻のように小規模な現象は、明らかに高層建築物の密集したような都心部には生じないようで、その母体と

なる積乱雲が都心部の上を通過しても、竜巻の渦は地表にまでは達しない。これは地表面の粗度が大きくなると渦を維持していくことが不可能になるためであると考えられる。もっとも木造2階建の住宅地ぐらいならば、竜巻は地表面を通過して行き大きな被害となった例はいくつもある。

外国では都市内の火力発電所の冷却塔からの水蒸気と熱の供給のため都市の上空にだけ積乱雲が発生するという例が見られるが、日本においては都市があるために積乱雲が生じたという例は報告されていない。積乱雲が移動して来て大雨を降らせるという場合にも、都市であるがために雨量が変化したという確証はまだ無い。もっとも、都市に大火災が発生した時にはその発熱量が大きく積乱雲が発達し雨が降ったり竜巻が発生したりするのは良く知られているところである。

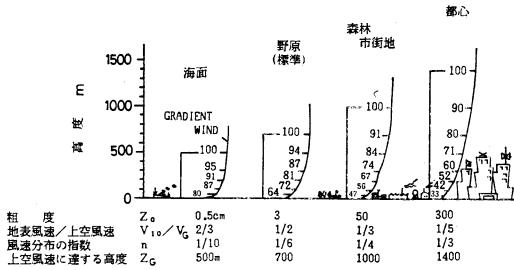
規模の大きな台風ともなれば都市の存在が台風の移動などに直接影響を及ぼすということは考えられない。しかし、都市域では建物の存在のため表面の起伏が多く、粗度が大きいところから、地表面付近の風の分布が他の場所と大きく異なることは事実で、そのための特殊な考慮は必要である。

3. 都市内の風と災害

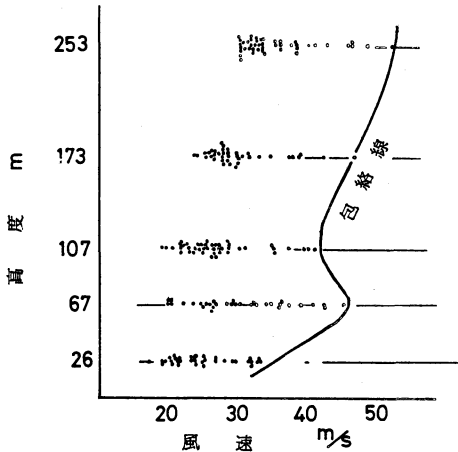
都市において社会活動の主に行われるのは建物とその間の空間であり、地表面の粗度要素とほぼ同じかそれ以下の高さでの風の性質が問題となる。これは普通に流体力学で考える流れの問題とは大きく異なっている。川の流れていえば、川の底の石ころの間の流れを問題にするのと同じであり、粗度要素よりもずっと高いところでの流れを問題にするのでは大きく様相が異なる。この点の研究は今日まであまり行われていない。また台風の最も風の強い部分の拡がりが高々10 km程度の範囲であ

* Wind disasters in urban area.

** Yasushi Mitsuta, 京都大学防災研究所.



第1図 いろいろな地表面状態の上での平均風速の分布。(nは風速がZⁿに比例するとした時の指数)

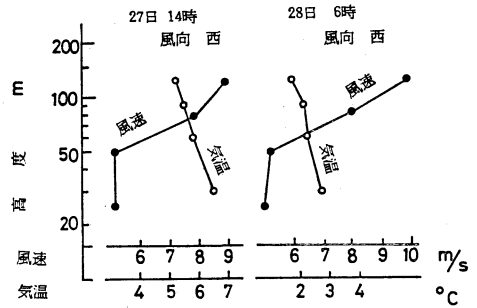


第3図 都市上空の最大瞬間風速の分布。1969年、東京タワーにおいて観測された強風時47例の最大瞬間風速の高度分布とその包絡線。

るので、台風が通過しても大都市の全域が同時に風によって著しく破壊されることが無いということが考えられる。

市街地では地表面粗度が大きいことが問題であることは上に述べたが、わが国のように狭い国土ではその地表面粗度が風の経路の上で次々に変化することも大きな問題である。風の経路に沿って地表面粗度が急変するとその新しい状態に対応した内部境界層が地表面付近からその境界を起点として少しずつ発達して行く。しかし、この内部境界層の高さは風向方向に水平距離の1/10ぐらいの高さまでしか発達しないので、水平方向に一樣な風の状態というようなものはほとんど見当たらないことになってしまう。このような過渡的な状態を多くの場合考えねばならないが、その面の研究も現在のところ充分ではない。

1986年3月

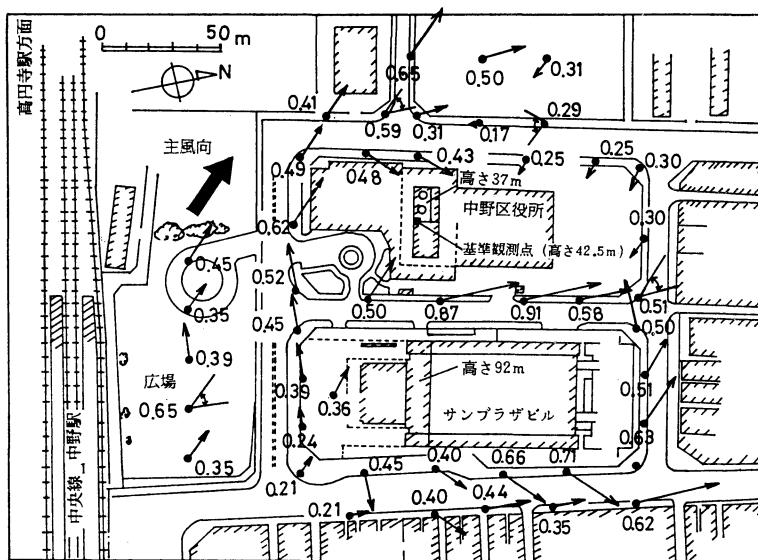


第2図 都市上空の平均風速および気温の分布。1971年1月、大阪タワーにおいて観測。

都市域でも建物の高さよりもずっと高い空間においては粗度が大きいというだけで普通の流体力学的な考えで充分説明できる。普通平らな草地の上では風速は高さの1/7乗に比例して増大すると近似して良いとされているのに対して、市街地では1/4乗ぐらいで増大すると考えれば良い。ただこの場合、上空の地面摩擦の影響の及ばなくなる高さが地表の粗度によって異なるが、そこでの風速は大規模な気象条件で決定されるものであって、それほど局地性は無い。このような関係は第1図に示したようなものと考えられる。

建物と同等またはそれ以下の範囲では平均的に上で考えた風速分布より風速が弱くなる。従って、風速分布は単純な形では表現できない。大阪市北部にある大阪タワーで観測された平均風速の分布は第2図のようになっている(中野, 他, 1974)。この塔の周囲は2階建程度の家屋が密集しているが、林の木の間の風観測結果のように低い高度での風速分布が変化している。これを無理に1つのプロファイルで示すためには高さの零点を仮想的にある高さまで持ち上げてプロファイルが従来考えられているものと同じになるようにする方策が考えられている。しかし、具体的にその零点移動量を定量的に決定する方策は確立されてはいないのでそれを利用する意味は少ない。

このような市街地では建物を作る時どれぐらいの風速に耐えるようにしたら良いのかということが問題としてすぐに生じてくる。建物は人工の物である以上、永久的にそこに存在するものではなく、いくら正確に現在の建物群の中での風を調べることを行っても、その建物が無くなってしまえば風の当たり方は変わってしまう。従って、現在の建築の規準では都市域でも平らな畑地と大差のない、少し強過ぎると思われるような風速を想定



第4図 市街地ビル周辺の風速分布。東京中野サンプラザビル周辺で1974年4月25日観測。風速は3分間平均値で基準点（区役所屋上42.5 m）での風速との比で示してある。

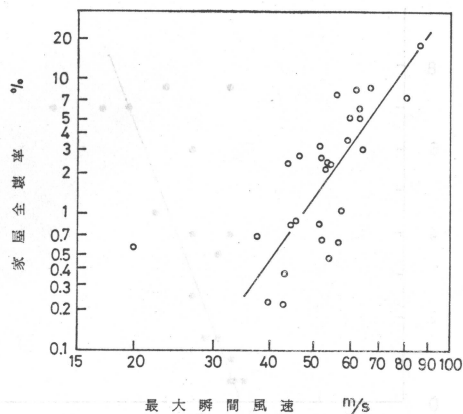
し、それに耐えることを要求している。これは社会的には不経済な面もあるが、都市の地表面の形状が不変でないことと、その他にも不明なことが多いことを考えた安全策であると考えねばならない。

市街地では建物のために地面近くでは平均的に風が弱くなると言えるが、障害物の周りの流れの性質から、局所的あるいは一時的に風が強くなる場合が生じることがある。第3図は荒川博士による東京タワーにおける最大瞬間風速の鉛直分布を示したもの（Arakawa and Tsutsumi, 1974）であるが、高さ67 mの所に極大値が生じている。また水平分布については塩谷博士の中野サンプラザ付近での地表付近の風の観測結果を示す第4図（塩谷, 岩谷, 1977）にも見られるように建物の近くで周囲の2倍近い風が吹いている場所も見られる。

このように、大都市の建物群の中では、風が平均的に弱くなっても乱れによる変動が大きくなり、それも建物との相互作用を考えねばならないため、単純な流体力学的取扱いは困難である。新しい理論の確立が待たれる問題である。現状ではこのような問題で一般的に取り扱えるのは統計的な性質のみであって、特定の建物についての問題は何か別の手法を考えねばならない。風洞実験による手法も考えられるが、相似性の問題など未解決の問題が多い。また高層建物の出入口をどの位置に付けたら良いかという問題などでは、人間が10 m/s以上の風の中

では行動の自由が制約されるということを考えると、建物の周囲の風が強くなるところに付けることは無理であり、個々の建物とその周囲の状態から充分検討せねばならず、単にデザインのみからこれを決定するのは危険である。さらに風によって揺れ易い建物の場合には周囲にある建物によって生じた風の渦のため中程度の風でも揺れが大きくなることもあり、先に述べたような強い風に耐えるようにするだけでなく、実際にその地点で生じるであろう風速の大きさや乱れの性質を何らかの方法で調べておかねばならない。これらの問題の一般的解決法が未だに確立されていない。

一般的にいて、現在の日本の都市では先に述べたような理由もあって、充分な強度が考えられているので耐風設計を行った高層建物などについてはまず全面的に構造が風で破壊されることは無いであろう。問題はむしろ後で述べる部分破壊や飛散物の方にある。しかし、耐風設計がなされていない一般の住宅については都市の中でも風による全壊の可能性は残っている。むしろ、周りの大きな建物の周辺気流や飛散物のために危険が増大することさえ考えられる、これらの建物は多くの場合、大工の勘のみによって作られているので都市域の予想外の問題に対しては充分な対策の取れないことが多い。最近の台風通過時の市町村単位の住宅の全壊率とその区域内の気象観測点における最大瞬間風速との関係を図にしたも



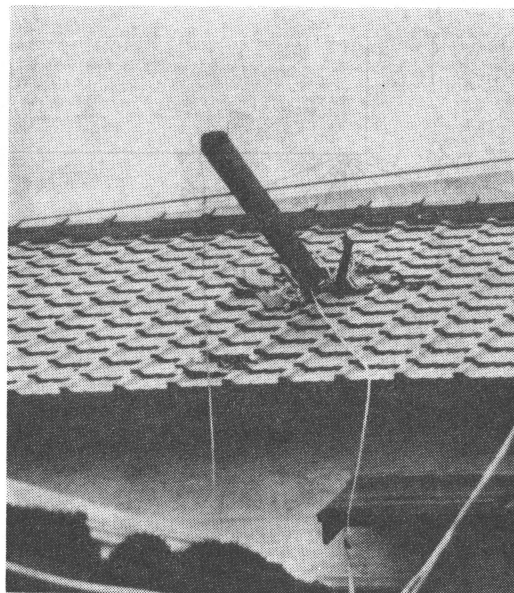
第5図 日本各地の台風による市町村別家屋全壊率とその場所での最大瞬間風速との関係（伊勢湾台風以後の主な台風の資料を集めたもの）。家屋全壊率は家屋全壊棟数の全世帯数に対する割合で示してある。

のが第5図である。この図が最大瞬間風速を用いているのは最大風速を用いるのより良い対応が得られるからで、住宅の全壊率は全壊した家屋の数と世帯数の比で近似したものである。この図からも明らかなように風速30 m/s ぐらいから被害が急速に増大し始める。この図には記入していないが、地方による差や市街地と田舎との差などはあまり系統的な差としては見られない。これは統計的に見てほしい住宅が同じくらいの危険度になるように作られているという結果を示しているようである。

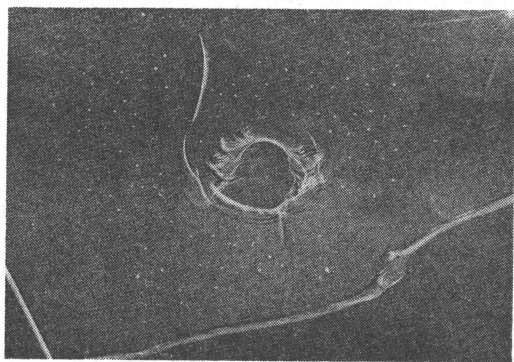
4. 風による物体の飛散の問題

都市にはいろいろな物体が存在するために、風で物が飛ばされてその物が衝突することによって破壊が生じるという問題がある。飛散物は風速に近い風速で動き、しかもその質量は空気よりも3桁も大きいために、衝突した時には激しい破壊を生じる。それがきっかけとなって風による破壊が進むということも考えられる。顕著なものは竜巻によるものであり、日本でも第6図に示すように材木が飛んで来て家屋を破壊するという例が見られる。台風時でも自動車が横転したり、トタン板や瓦などが飛んで損害を増大させた例は数多く見られる。

先にも述べたとおり、建築物の隅角部などでは風の局所的な増大が見られるので、建築物に付属した広告、給水塔あるいはアンテナといった工作物は強い風で吹き飛ばされる可能性が大きい、従って飛び易い小さいものは



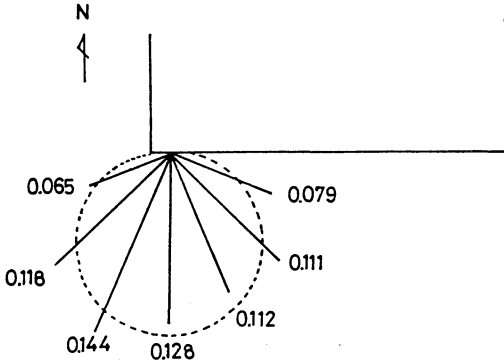
第6図 竜巻による Wind Induced Missile による被害の例。1984年11月19日米子にて、近くの材木置場から飛んだものと思われる（朝日新聞社の好意による）。



第7図 室戸台風の時の室戸岬の旅館の窓の被害状況。ガラスの厚さは2mm、穴の周辺の小さな点是小石が当たってできた傷跡。

ど強風時においては地面や建物への固定に注意をはらう必要がある。小さいだけに風の乱れによる短時間の強風が作用する可能性が大きく、建物そのものよりも高い耐風性を考えねばならない。

寒冷地においては、高層建物などの外部に付着した着氷雪が風で飛ばされることについても注意が必要である。小さい落下物でも人を傷つけるぐらいの力はあるか



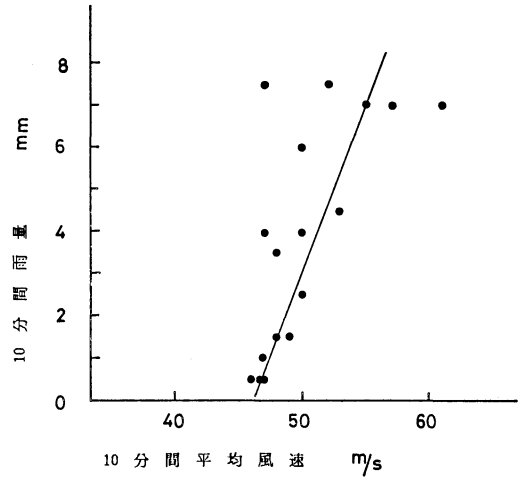
第8図 壁面に種々の角度で風が吹いた時に壁面に衝突する雨の量と水平面雨量×風速との比。円形の分布は壁面直角方向分速度に比例して衝突することを示し、直角の時の比例係数0.128は雨滴の平均落下速度の逆数とほぼ等しく衝突係数が1に近いことを示す。

ら、建物の構造そのものを落下物が生じないように考えておく必要がある。

飛散物による破壊についてはガラス窓の破壊が特に問題である。第7図は室戸台風の時の室戸岬にあった旅館の窓ガラスの破損状況を示すものである（赤松、篠崎、1935）。この板ガラスは厚さ2mmであるが、風によって飛んで来た小石によって穴があいており、その表面の他の部分には小さな傷が数多く残っている。赤松、篠崎両氏の調査によれば、この場合板ガラスに穴をあけたのは1gr程度の小石であり、後日の実験によると40m/sぐらい以上で衝突するとこのような穴があき、26~44m/sぐらいで衝突した時にははね返って写真のような傷を残すという結果が得られている。第2室戸台風の時には工場の窓ガラスが砂の飛散のためスリガラスのようになってしまったという話もある。

また、ガラス窓の場合はその面積が大きくなると風圧のみでも破壊することがある。室戸台風あるいは第2室戸台風など強烈な台風に伴う強風時には、高層建物の高層階において窓ガラスが風によって破壊された報告が数多く見られる。桂および河井（1976）の研究によれば6mmの厚さの板ガラスでも2m²以上の面積があると60m/s以上の風で風圧のみで破壊する可能性がある。窓ガラスは破壊の前に大きく変形するので、その支持方法によって危険度は異なるようであるが、都市域では注意を要する。

また風上側の窓が風で破壊されたとき、一般の住宅で



第9図 第2宮古島台風通過時（1966年9月5日7~10時）の宮古島地方気象台における10分間平均風速と同時の10分間雨量との対比。

は風下側の窓を開くように言われているが、高層建物の場合はどうであろうか。小さい家屋では風上側が破壊されると室内気圧の上昇により屋根が飛ばされる危険が増すと言われるのであるが、高層建物などの場合は隔壁に十分な強度があるから、むしろ隔壁を閉じて風が室内を吹き抜けないようにする方が2次的な被害は小さくできると考えられる。

雨が激しい時には雨滴が飛散物として建物に衝突する。雨滴の衝突だけでも建物表面の塗装がはがれたり、タイルが摩滅することがある。壁面への雨滴の衝突係数は第8図に示すように1に近いから、空中を落下中の雨滴は風によって壁面にまともに衝突する（Ishizaki *et al.*, 1970）。その量は強風時水平面雨量よりも大きな値を示す。台風目の周囲の壁（eye wall）の部分では第9図に示すように雨の強度と風の強さは正の相関を持っており、この台風の時、風速55m/sで毎秒1m²当たり1lもの雨水が鉛直な壁面に衝突する。水はけが悪いと、これが強い風圧により室内に侵入する。この場合、特に窓のサッシの敷居の所が問題である。窓に吹き付けた雨水の多くの部分が室内に侵入し、建物の構造には全く被害は無くても、窓際の部屋の中が水浸しとなり大きな損害が生じる。この点、現在のサッシは必ずしも完全とは言えず、特に高層住宅の場合はこのように被害が生じる可能性が大きい。

5. 都市における災害の問題点

最後に都市であるがために考えねばならない問題点を幾つか挙げておきたい。本文中でこれまで取り上げた市街地の風の問題、雨の排水の問題、飛散物の問題、雨水の窓からの侵入の問題などのほかに、都市化が進むと共に大きな問題となるのは、たとえ小さな破壊であってもその社会的な波及の大きい場合があることである。簡単な例としては、1カ所でも街路の信号機の電源が切れると広い範囲にわたって交通の混乱が生じることがある。原子炉、高压ガスタンク、高速交通網、信号線あるいはパイプラインなどでは1カ所の破壊が大規模な社会的損害を発生させてしまう。このような場合、最初の被害は何でもないものが風で飛散したことによるというような場合が多いので、台風の時、重要対象物の付近では特に注意が必要である。これは短期的な注意で十分である。

このような場合、先に述べたように、台風による強風の範囲は大都会に比して狭いから、重要な物が複数ある場合は、少し距離をおいて2つ同時に被害が生じないようにすることが長期的に見ると重要である。第2室戸台風時の経験に基づいたこのような考えから、大阪と電源地帯を結ぶ超高圧送電線は幾つかの方向から間隔を広くとって市街地に入るように計画され、一部の被害では全体的な影響が生じないような方策がとられるようになっている。

今一つ問題となるのは、予報の失敗における社会的損失の問題である。現在の気象予報はまだ完全ではなく、米国におけるハリケーンの進路予報の精度はシートの調査によれば1日前で35~50%以下、2日前では13~18%以下であると言う。日本でもこの程度のものではあると思われるが、短期的な防災対策はそのような精度を考慮に入れて行わねばならない。つい最近でも1985年9月27日米国東岸は今世紀最大と言われるハリケーン・グローリアの来襲が予報され、広範囲にわたって官公庁や学校は休み、空港も閉鎖されたが、グローリアは急速に弱まり進路もそれたため、大災害には至らず死者3名のみという

結果になった。これに対してどのような社会的反応があったのか明らかではないが、よく研究しておく必要がある。

6. 結 語

以上、都市化に伴う気象災害の問題点を、風に関連した部分に重点をおいて述べたが、未解決の問題が多く、今後さらに各関連分野の研究を進めなければ、急速な社会の進化に伴って発展する一方の都市を気象災害から守るのには不十分であると言わねばならないのが現状である。

(本文の内容は学術月報1985年12月号に掲載したものを加筆修正したものである)。

文 献

- 赤松貞実, 篠崎長之, 1935: 室戸岬海岸低地に於ける室戸台風の風速について, 中央気象台彙報, 第9冊, 382-386.
- Arakawa, H. and K. Tsutsumi, 1974: Strong gusts in the lowest 250 m layer over the city of Tokyo, US-Tapan Seminar on Wind Effects on Structures, Kyoto.
- Ishizaki, H, Y. Mitsuta and Y. Sano, 1970: Rainfall deposit on a wall of a building in a storm, Bull. Disaster Prevention Res. Inst., Kyoto Univ., 20, 95-103.
- 桂 順治, 河井宏允, 1975: 八丈島における台風7513号による構造物の被害状況, 文部省自然災害特別研究, 台風13号による八丈島の暴風災害の調査研究 (石崎發雄編), 33-37.
- 中野道雄, 竹内清秀, 光田 寧, 花房龍男, 1974: 都市上空の大気の乱れの性質について, 気象研究ノート, 第119号, 133-141.
- 塩谷正雄, 岩谷祥美, 1977: 中野区役所サンブラザビル周辺の風について, 文部省自然災害特別研究, 建物・地物の影響を受けた強風の極値の研究 (石崎發雄編), 29-38.
- Sheets, R.C., 1985: National weather service hurricane probability program, Bull. Amer. Meteor. Soc., 66, 4-13.

討

論

股野氏に対して

高橋浩一郎: 災害にはいろいろな面がありますが, 今

1986年3月

日はハードについて話されたと思います。それ以外にソフトについても重要な面があるのではないかと思います。災害に対する警報の問題を考えましても、提供する