

## 佐々木嘉和オクラホマ大学名誉教授講演の概要

日時：2008年7月17日(木)

於：Bethel College Lecture Hall

### 海水温度とトルネード

近年、日本でもトルネードが増えており、トルネードとは全く縁のなかった北海道の佐呂間町のような所でもトルネードが発生しています。

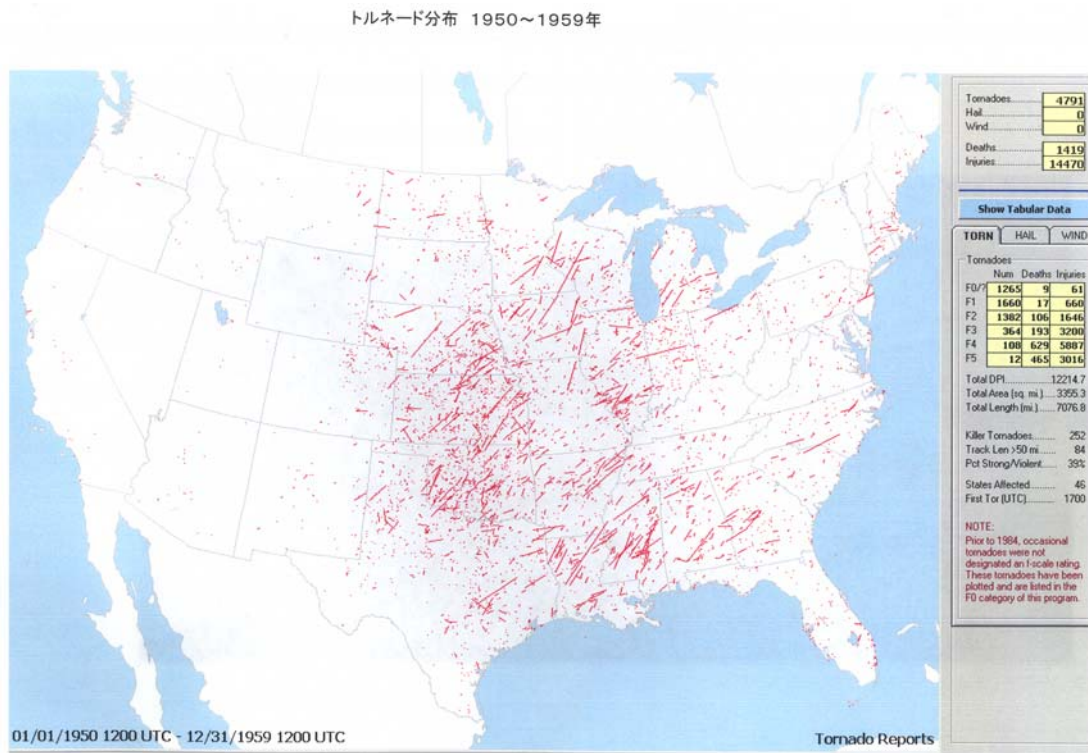
このように、トルネードが異常に発生している原因について考えてみて、一つ気が付いたのは、黒潮が異常になっているということです。メキシコ湾流でも異常が生じており、ハリケーン・カトリーナが異常発達しました。それでは、何が異常かというと、メキシコ湾と東海岸南部近海の海水温度が上昇しており、大気中で大きなエネルギーを生み出す水蒸気を普通の何倍か発生させているのです。詳しくは後述しますが、そのような事実が判明しています。

日本の黒潮でも同じ様な現象が見られます。これはまだあまり言われていませんが、このことが、近年、トルネードの発生件数が増加している原因になっていると考えられます。

### 米国でのトルネード発生件数の増加

図1は、アメリカ海洋大気圏局(National Oceanic and Atmospheric Administration, 略称 NOAA) Storm Prediction Center が発表した資料を用いて、1950年から10年間、発生したトルネードを図面におとしたものです。これを見ると、オクラホマ州近辺が中心地になっていることが分かります。図2は1995年から2004年までの10年間です。比較すると、後者の方がトルネードの発生件数が増えており、また、それまでトルネードの発生件数が少なかったフロリダを含む東海岸地方や南東部の北方へトルネードの発生地域が広がっていることが分かります。

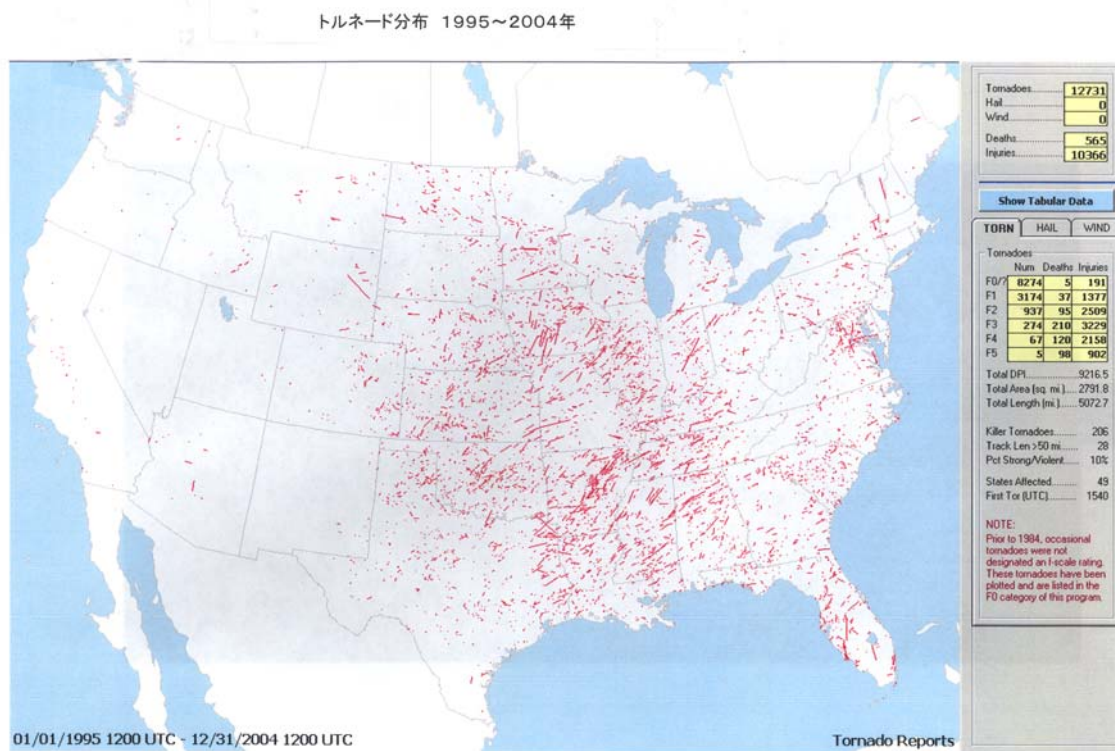
図 1 : トルネード分布 (1950 年~1959 年)



Map of 10 yrs Total of Tornado Reports in 01/01/1950 ~ 12/31/1959.

Provided from: Storm Prediction Center, NOAA, by Russell S. Schneider.

図 2 : トルネード分布 (1995 年~2004 年)



Map of 10 yrs Total of Tornado Reports in 01/01/1995 ~ 12/31/2004.

Provided from: Storm Prediction Center, NOAA, by Russell S. Schneider.

## 防災と情報の伝達

防災関係で一番大事なことは、情報の伝達です。音楽を聴きながら、窓を閉めて、ドライブしているとします。外は雨が降り、強風であっても、トルネードが発生しているという情報が伝達されなければ、トルネードの側を運転中であることに気づかず、トルネードに突っ込んでしまうこととなります。情報伝達がうまくいかないと、このようなことが起きてしまうのです。

## トルネードの位置

甚大な災害をもたらすトルネードは何処に発生するのでしょうか。

対流圏上層の偏西風の下で南からの暖かい気流に混じった水蒸気が回転しながら上昇してゆき、スーパーセル（巨大な積乱雲）ができ、その中でトルネードができるというのが一般的な学説でした。

ところが、実際にトルネードの観測に行ってきた何人もの学生は20年～30年も前に既に「そうではない」と言うのです。大変びっくりされると思いますが、実はトルネードは、スーパーセルの南西のすぐ外側下方にできると言うのです。学生からの報告を受けて、家内と一緒にトラックに乗って出かけ実際に観察してみると、その辺りだということが分かりました。

スーパーセルの中央では、大雨が降ったり、ひょうが降ったり、雷が鳴ったり、強風も吹きます。風速が音速の約3分の1にも達する強烈なトルネードは、スーパーセルの中央ではなく、南西のすぐ外側下方にできるという間違いはありません。

図3は、スーパーセルとトルネードの相対位置を模式的に示したイラストで、スーパーセルを南方上方から見た場合です。イラストには、スーパーセルの周りの風やスーパーセルからの吹き出し突風（ガストフロント）も書き込んであります。その突風は時には災害をもたらします。

トルネードがスーパーセルの南西のすぐ外側下方にできるということは、20年位前に全米に160台設置されたドップラー・レーダーの観測からも実証されております（図4）。さらに、近年、スーパーコンピューターを使った数値シミュレーションで、時間と空間の解像度を高め精密な計算をすることで現実のトルネードに非常に似た結果が得られるようになり、トルネードがスーパーセルの南西のすぐ外側下方に発生する結果が得られております。

スーパーセルは、偏西風が南下しており、そこへ南から水蒸気を一杯含んだ風が吹き込む気候配置の時に発生し易いのです。先ほど申し上げた通り、メキシコ湾では海水の温度が高いことなどから、水蒸気がどんどん発生しています。その水蒸気がトルネード

を発生させる要因となるのです。もちろん、トルネードが中央部にできる場合もありますが、それは、発生初期段階の弱いトルネードです。スーパーセルが発生している場合には、ただ今説明した通り、強いトルネードがスーパーセルの南西のすぐ外側下方にできます。

図 3：トルネードの位置

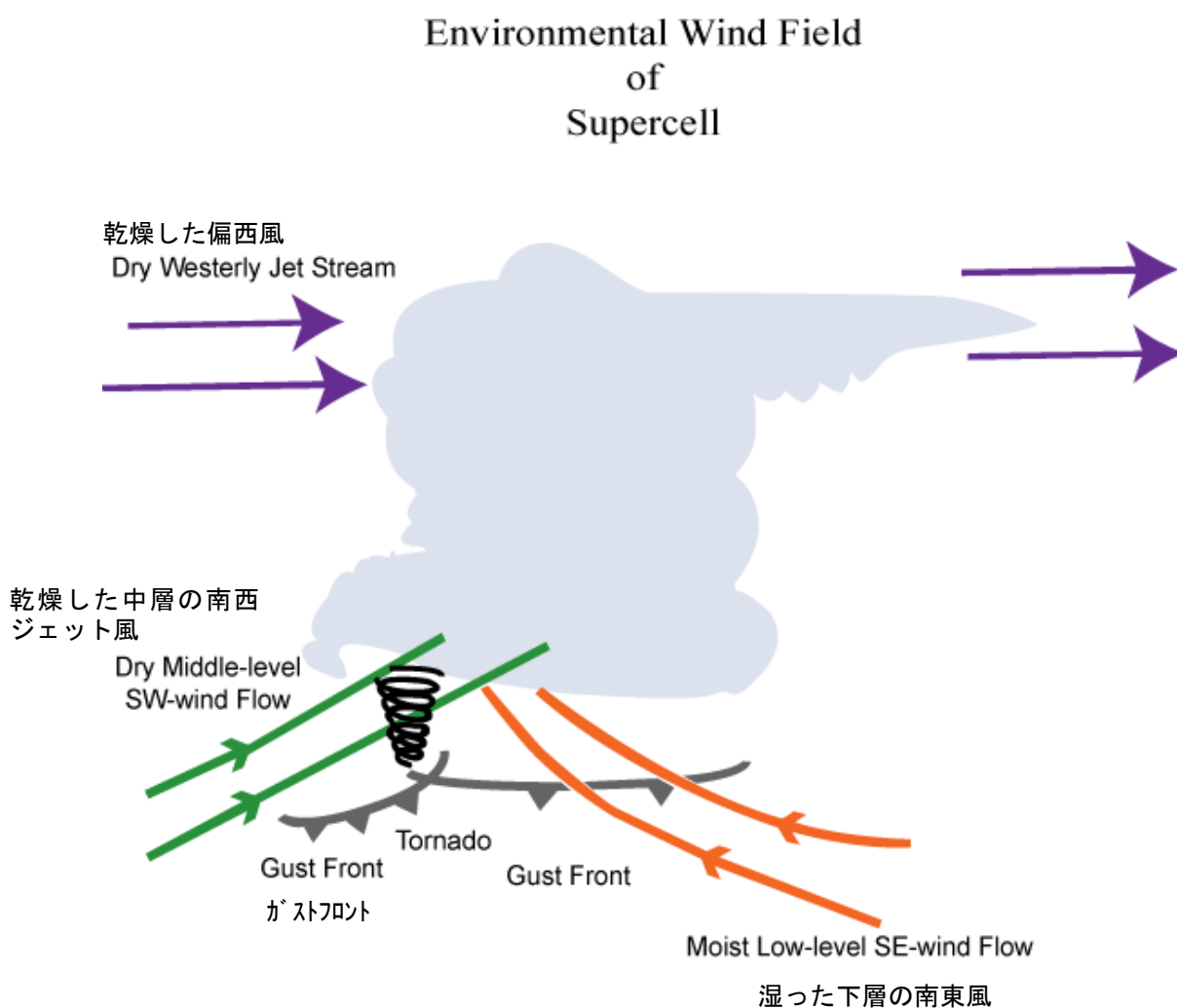
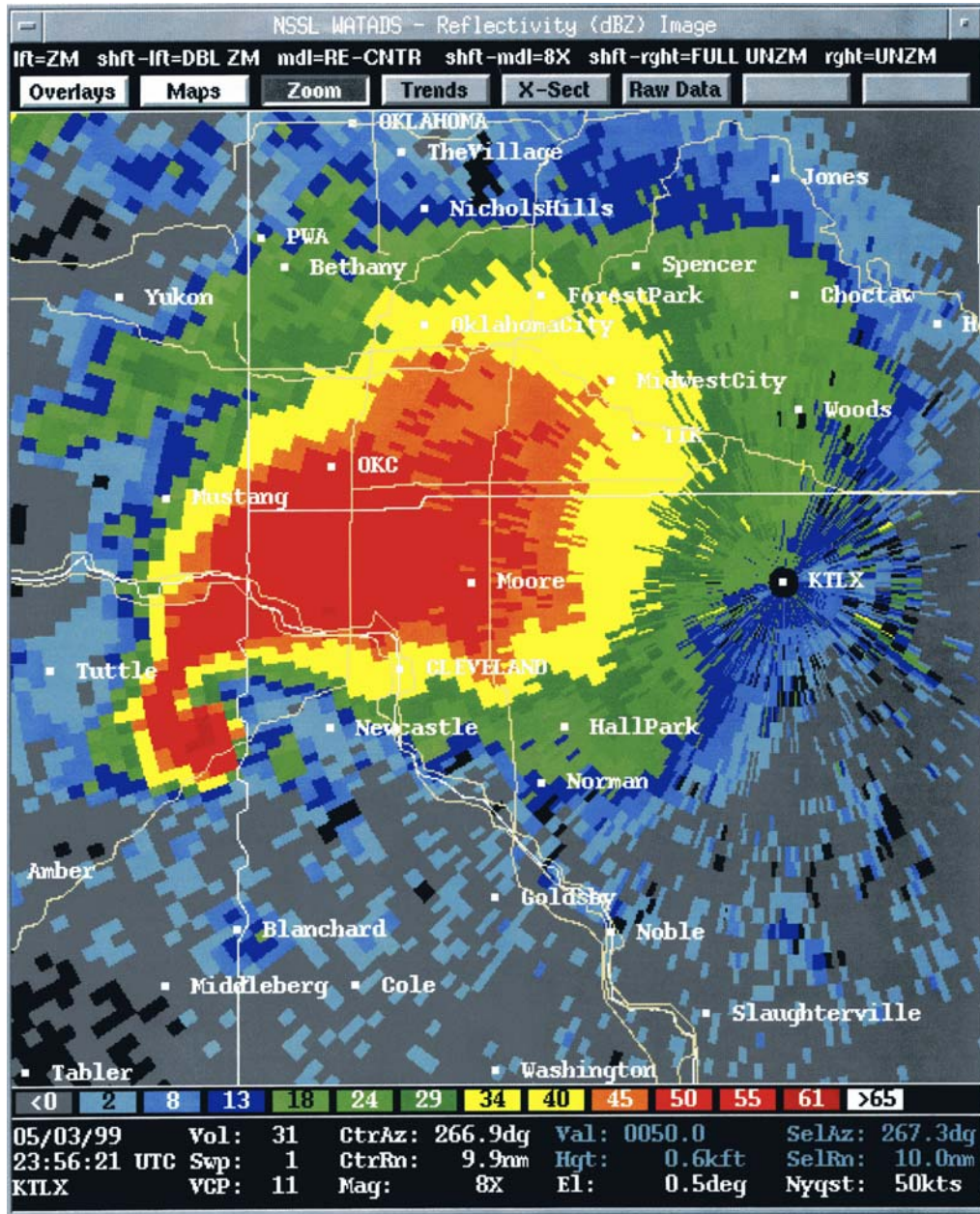


Figure 3: Schematic environmental wind field of supercell

Supercell cloud, tornado, two major gust fronts, moist low-level SE-wind flow, dry middle-level SW-wind flow and dry upper-air westerly jet stream are schematically shown with surface gust fronts and tornado. All of them are observation based.

## ドップラー・レーダー

図 4：ドップラー・レーダー-1



出所：NOAA, National Sever Storm Laboratory, Storm Prediction Center

トルネードの発生現場に行って観察することは、大変なことです。それではオクラホマ大学で最初に何をやったかと言うと、政府のレーダーの研究所をキャンパスに招致したのです。レーダーは、第二次世界大戦時に一生懸命開発されました。それがドップラー・レーダーなのです。ドップラー・レーダーは、今では、ハイウェイ・パトロールが

車のスピードをチェックするのに使用したり、飛行場でも使われています。飛行場では、丸い小型のドーム型の機器が見かけられますが、あれが飛行場用のドップラー・レーダーです。

このレーダーで見ると、スーパーセルがこのように見えるわけです（図 4）。これは実際のもので、1999年5月3日、オクラホマ大学の近くを通ったトルネードです。このスーパーセルの大きさは、20キロメートル四方です。中央がスーパーセルで、左下（Tuttle 付近）の突起のような所がトルネードです。トルネードの大きさは1キロメートルです。トルネードの中では、毎秒数10mの強風が吹いています。トルネードに巻き込まれると、車も何もかも飛ばされてしまいます。映画「ツイスター」の中で、牛が飛ばされているシーンがありますが、そのようなことが実際に起こります。1キロメートルの範囲に注意を払えば良いわけで、その範囲の外は何ら問題はなく、牛は平気で立っています。

トルネードが通過したところは、幅が約数百メートルに亘り、トルネードの進行方向に直線上に壊滅的な被害が発生し、場合によっては死傷者も発生します。車にドップラー・レーダーを積んでトルネードの側で観察を行った連中がいます。この観察により作成されたのがこの写真です（図 5）。下部に、1キロ、2キロ、3キロと距離が示されています。これを見ると、トルネードがどのようなものかすぐに想像がつかます。このトルネードは、約1キロメートルの大きさの幅を持っています。これはとても強いトルネードで、テキサスのナビットで発生しました。このトルネードを300倍にするとハリケーンと同じ規模になります。

連邦政府は多額の予算を費やし、米国中にドップラー・レーダーを百数十台設置しています。沖縄やグアムに加えて、韓国や台湾にも3、4台設置しています。

ところが最近、今のレーダーは解像力が十分でないということが分かってきました。そのため、新しいレーダーがテスト等を通じて開発されているところです。古いレーダーはアンテナが回転しますが、新しいレーダーは回転しません。新しいレーダーにより秒単位で解像ができるようになってきました。

新しいレーダーでこのような映像（添付図省略）が撮れるようになってきました。突起状の所がトルネードです。

図 5 : ドップラー・レーダー2

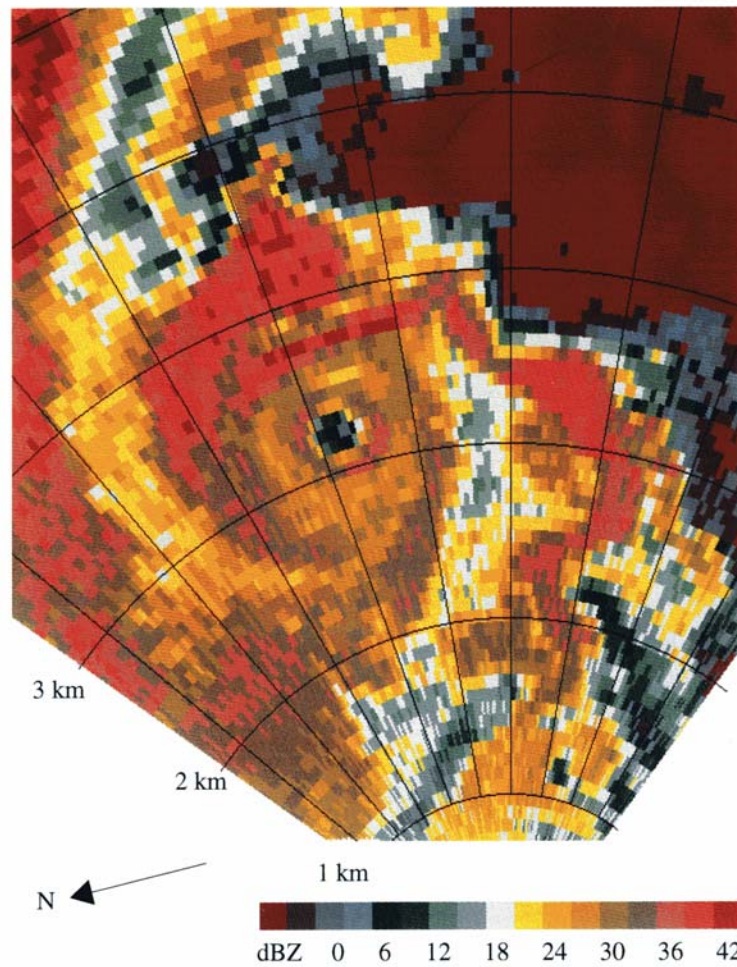


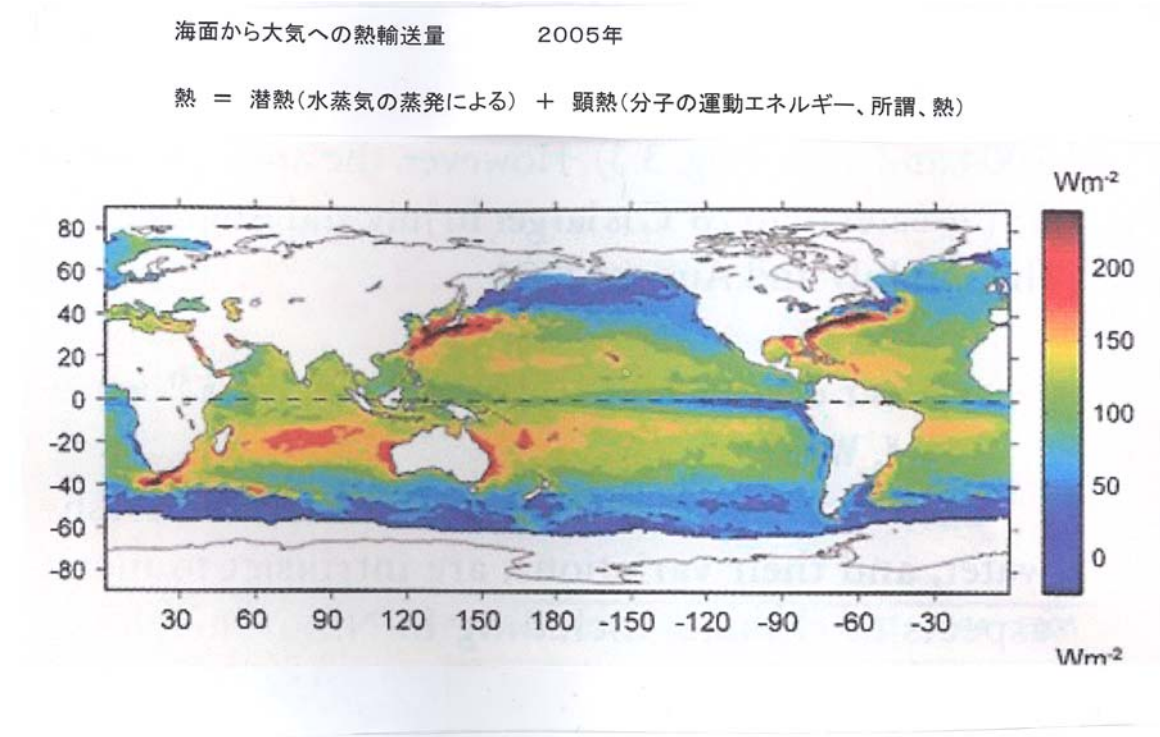
Fig. 5 Radar reflectivity (dBZ) field of a tornado and near tornado environment in Dimmitt, Texas at 01:07:20 UTC 03 June 1995 as measured by mobile Doppler radar from 3 km range. These data were taken with a scan at 6° elevation or about 330 m agl at the center of the tornado. Each displayed sample is approximately 64 m x 17 m at the center of the tornado. Two concentric bands of enhanced radar reflectivity surround the axial region of the tornado.

From Wurman J., J. Straka, E. Rasmussen, 1996, Submitted to Science

April 6, 1996

## 地球温暖化とトルネード

図 6 : 海面から大気への熱輸送量 1



Annual Mean Latent-plus-Sensible Heat ( $W m^{-2}$ ) in 2005.

From: State of The Climate in 2005: Special supplement to the Bulletin of the American Meteorological Society Vol. 87, No. 6, June 2006, p. 524, by I. Yu and R. A. Miller, both of Woods Hole Oceanographic Institution, Woods Hole, Massachusetts.

米国ウッズホール研究所が調査したところ、日本近海の黒潮とメキシコ湾や東海岸南部近海において顕著に海面から大気に熱が輸送されていることが分かりました(図6)。熱の輸送が減っている所もありますが、増えている所もあります。メキシコ湾ではこのため、ハリケーン・カトリーナが勢力を異常に発達させたのです。図7は1980年から2005年の海面から大気への熱輸送量を観測した結果を表しています。顕熱は、海水から暖かい熱が大気に伝わる原因となります。また、潜熱は、海から水蒸気が蒸発し大気中で凝結し雲をつくる過程で熱が大気に伝えられ、これも空気を暖める原因となります。図8は1980年から2005年の日本近海の黒潮とメキシコ湾流の大気への熱輸送量の観測結果です。グラフをみてお分かりの通り、近年、日本近海の黒潮とメキシコ湾や東海



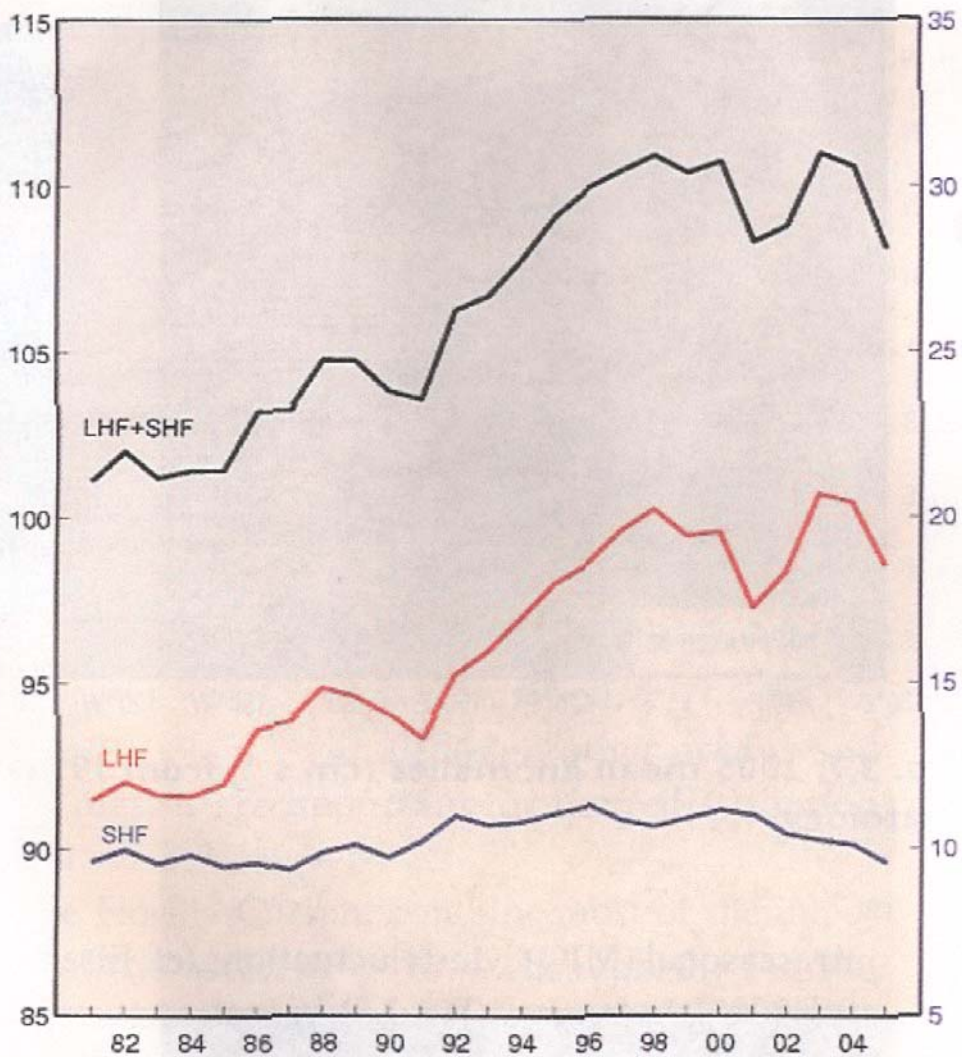
岸南部近海で水蒸気が大気中にどんどん放出されています。2006年の観測結果でも同じ傾向が示されています。

図7：海面から大気への熱輸送量2

海面から大気への熱輸送量変動 1980年～2005年

熱輸送量 = 潜熱輸送量(水蒸気の蒸発による、LHF)

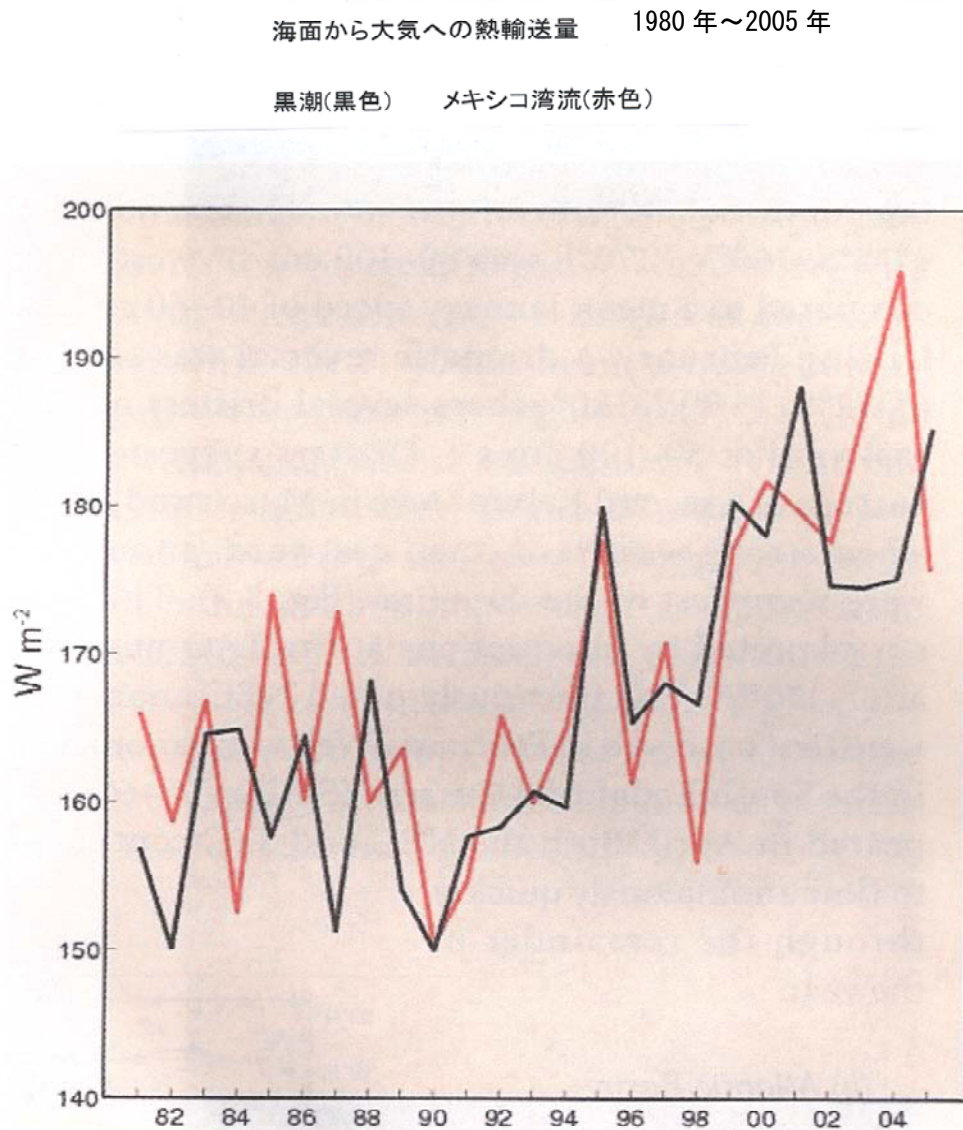
+ 顕熱輸送量(分子の運動エネルギー、所謂、熱の輸送量、SHF)



Year-to-year Variations of Globally Averaged Annual Mean Latent Heat Flux (red), Sensible Heat Flux (blue), and Latent-plus-Sensible Heat Flux (black), in ( $W m^{-2}$ ).

From: State of The Climate in 2005: Special supplement to the Bulletin of the American Meteorological Society Vol. 87, No. 6, June 2006, p. 525, by I. Yu and R. A. Miller, both of Woods Hole Oceanographic Institution, Woods Hole, Massachusetts.

図 8 : 海面から大気への熱輸送量 3



Year-to-year Variations of the Annual Mean Latent Heat-plus-Sensible Heat Fluxes Averaged Over the Regions of the Gulf Stream [(25°-45° N, 85°-50° W), red] and Kuroshio [(20°-40° N, 120°-150° E), black].

From: State of The Climate in 2005: Special supplement to the Bulletin of the American Meteorological Society Vol. 87, No. 6, June 2006, p. 525, by I. Yu and R. A. Miller, both of Woods Hole Oceanographic Institution, Woods Hole, Massachusetts.

## 情報伝達

現在、アメリカ海洋大気圏局（National Oceanic and Atmospheric Administration, 略称 NOAA）は、最新式のレーダーを駆使して 15 分前にはきちんとしたトルネードの情報が出せるようになっていました。しかし、情報が出ても、伝わらなかったらどうしようもないのです。オクラホマでは、テレビがトルネード情報を 24 時間報道しています。テレビを通じて正確なトルネード情報を把握し防災に役立てることが最善です。携帯電話が使われ始めた当時、トルネード情報の伝達手段として携帯電話を利用することを提案された聡明な方がおりました。その方の予想通り、最近では携帯電話を利用してトルネード情報を発出している所もあるようです。防災のために新しい技術によりトルネード情報が市民に対してより一層、正確かつ迅速に伝達されるようになることを祈念しまして、私の講演を終わりとします。

## 質疑応答

（質問 1）ウェザーラジオで警報が発出されるのは、お話の中で説明があったように 15 分前なのでしょうか。

（回答）アメリカ海洋大気圏局（NOAA）の Storm Prediction Center はオクラホマ大学の構内にあります。そこでは全米のトルネードを予報しています。予報されてから実際にトルネードが観測されるまでの時間をリードタイムといいます。同センターで収集した統計によると、リードタイムは 15 分です。しかし、トルネード予報情報を全ての人々に正確に伝え、適切な対応をしてもらうことは至難なことです。

オクラホマ州ではテレビ報道が大変な活躍をしております。オクラホマ州でテレビ報道をみていると大体トルネードの進路などの見当がつかます。最近のテレビ報道はかなり進歩しています。例えば、今、トルネードがナッシュビルの〇〇地区に位置しているとします。テレビ報道では、その 1 分後には△△地区に到達します、2 分後には××地区に到達しますと地域名をあげて報じられます。テレビ報道をご覧になれば、何分前に警報が発出されるかということに頼らなくても、シェルターに避難する又は遠くに避難する等の判断ができるのではないのでしょうか。

（質問 2）トルネードがジャンプやタッチダウンするタイミングはどのような要素によるものなのでしょうか。

（回答）地上で考えると、トルネードがジャンプしたように思えますが、実はジャンプしません。スーパーセル（巨大な積乱雲）の活動が強くなるとタッチダウンし、スーパーセルの活動が弱くなるとトルネードはタッチダウンを止めるのです。

(質問 3) 一般的に言って、トルネードがタッチダウンして地上を移動する間の時間は決まっているのでしょうか。

(回答) トルネードが地上を 1 回に移動する時間は大体 5 分位と言われています。それを弱くなり強くなり何回か繰り返します。地上の障害物との摩擦ではなく、スーパーセルの活動に影響を受けて、トルネードは弱くなるのです。上空の積乱雲の活動が弱まる理由はいろいろありますが、ガソリンの役目を果たす水蒸気が何らかの理由で弱まり、積乱雲自体が弱まることがあると思います。

(質問 4) 具体的な避難の方法について説明してください。

(回答)

1. シェルターに避難することが最善ですが、シェルターが設置されている地域は少ないので、次善の策として、地下室など低いところにあり且つ丈夫な場所に避難することが勧められます。バスタブに身を隠すのは最後の手段ですが、強風により物が飛んで来ますので、布団などをかぶり身を守る必要があります。
2. 車は簡単にトルネードに飲み込まれてしまいますので、車の中に避難することは大変危険です。また、陸橋の下に避難することも危険です。車の中や陸橋の下ではなく、できる限り低い位置にある場所に身を隠すことが勧められます。
3. 最近では、家屋内のクローゼットを鉄板などの強化資材で囲う形式のシェルターができているとのことでした。
4. なお、映画「ツイスター」の中で、体を固定物に縛り付けるシーンがありますが、良い方法ではありません。



平成 20 年 2 月 5 日 メンフィス地域にタッチダウンしたトルネード