

米国における竜巻対策及び 監視/予測の現状 現地調査報告



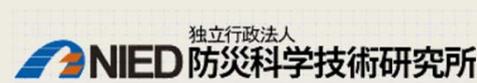
報告者：気象庁観測部
(観測システム運用室長)
鈴木 修

平成24年7月18日(木)
竜巻等突風対策局長級会議報告

メンバーと日程

- メンバー

 -



- 日程

 - 6月25日(月) 於:ワシントンD.C.

 - ・Federal Emergency Management Agency(FEMA、米国連邦危機管理庁)
 - ・National Weather Service(NWS、米国気象局)

 - 6月26日(火) 於:オクラホマ州ノーマン市

 - ・オクラホマ大学

 - 6月27日(水) 於:オクラホマ州ノーマン市

 - ・NOAA(米国海洋大気庁)のStorm Prediction Center(SPC、ストーム予報センター)
 - ・Norman Weather Forecast Office(ノーマン地方気象台)
 - ・Weather Decision Technologies社(現地民間気象事業者)
 - ・KFOR-TV(現地報道機関)

 - 6月28日(木) 於:オクラホマ州オクラホマシティ

 - ・オクラホマ州政府危機管理局
 - ・A班: Warning Decision Training Branch(WDTB、警報決定研修センター)
National Severe Storms Laboratory(NSSL、国立シビアストーム研究所)
 - ・B班はジョプリンへ移動

 - 6月29日(金) 於: A班:ミズーリ州ジョプリン市、B班:オクラホマ州ノーマン市

 - ・A班:NWS のRadar Operation Center(ROC、レーダーオペレーションセンター)
NSSL(国立シビアストーム研究所)のフェーズドアレイレーダー視察
 - ・B班:ジョプリン市役所



2011年の米国における甚大な災害



10億ドル(~800億円)以上の気象関連災害が14



2011年は米国の竜巻史上でも特別な年

Year-to-date

- ~1,700 tornadoes
- current record
- 553 direct fatalities
- 2nd deadliest year
- NOAA + historic research
- 551 deaths in 1917

年間

発生数: 1700 (2番目)

死者数: 553 (2番目)

April

- 758 tornadoes
- 200 fatalities
- 361 fatalities
- most fatalities
- 317 on April 27 alone

4月

発生数: 758 (1番目)

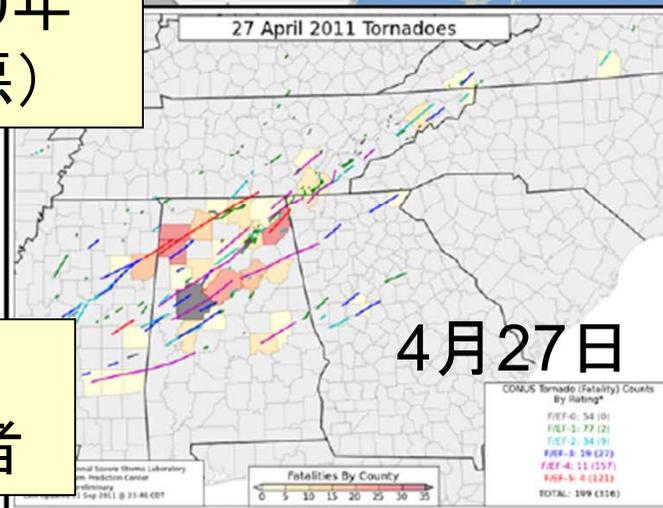
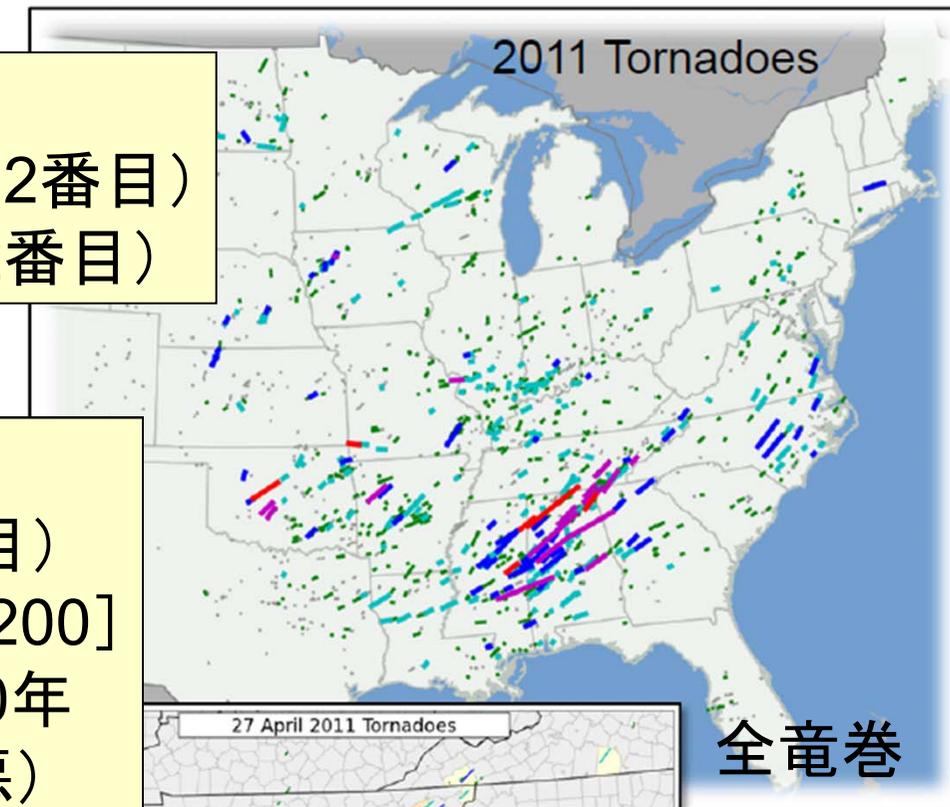
[27日のみで200]

死者数: 361 (1950年以降最悪)

Joplin

- Deadliest single tornado since 1947

Joplin竜巻 (5月22日)
1947年以降最悪の死者



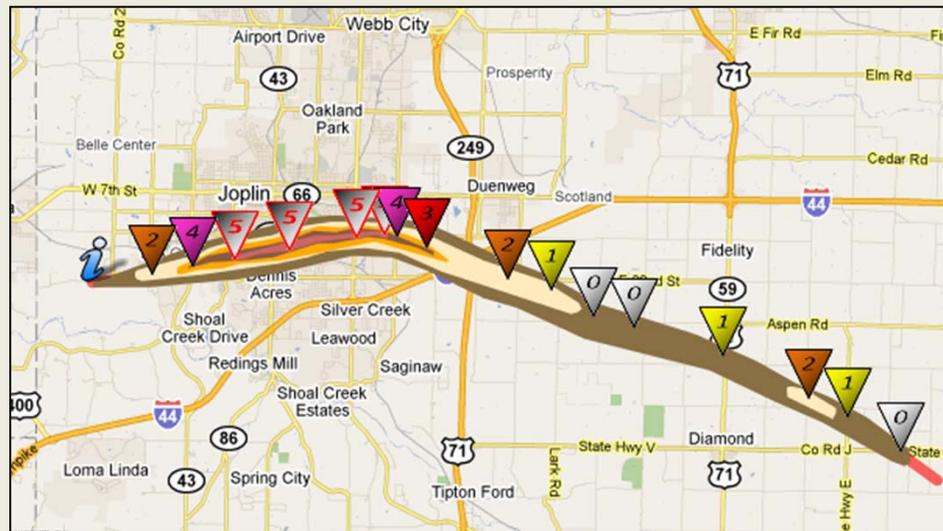
2011年5月22日 ジョプリン竜巻

ミズーリ州ジョプリン

EFスケール:5

死者 161名

単一の竜巻として、1947年以降最悪



竜巻前

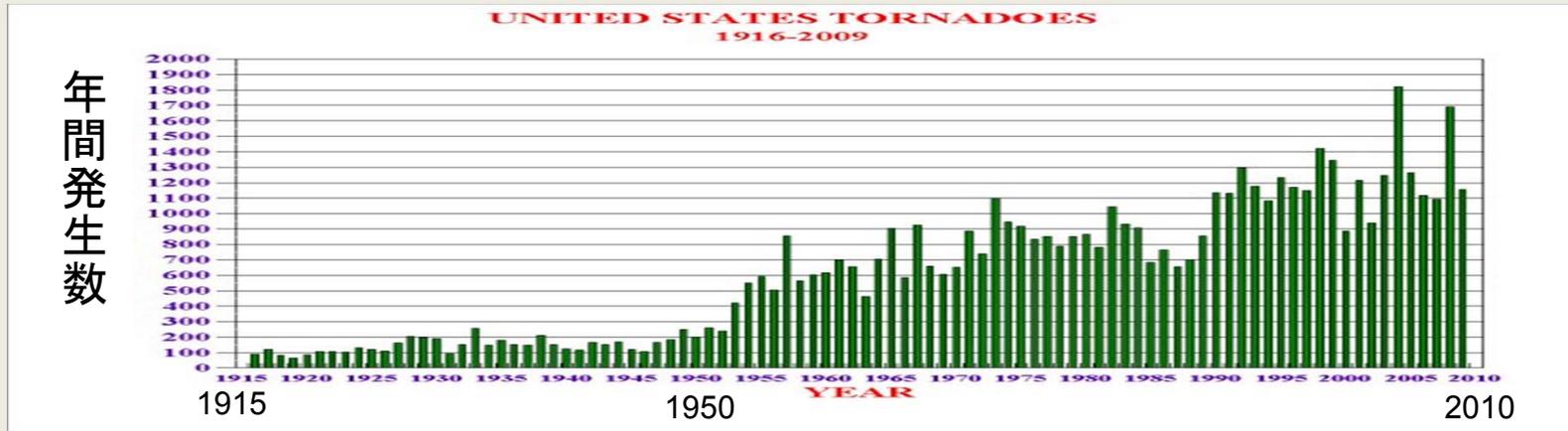
被災後



米国における竜巻の概要

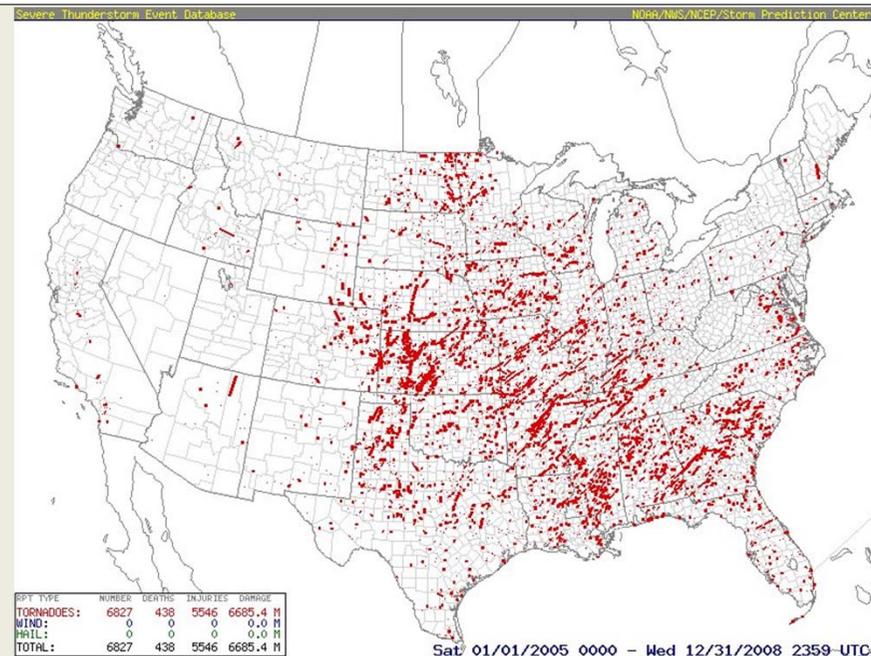
◇ 竜巻・・・年間1000以上

年間1000以上。変動も大きい。報告数に長期的な増加傾向は公衆の認知向上や積極的な調査・報告がなされるようになった等の人為的な影響が大きい。

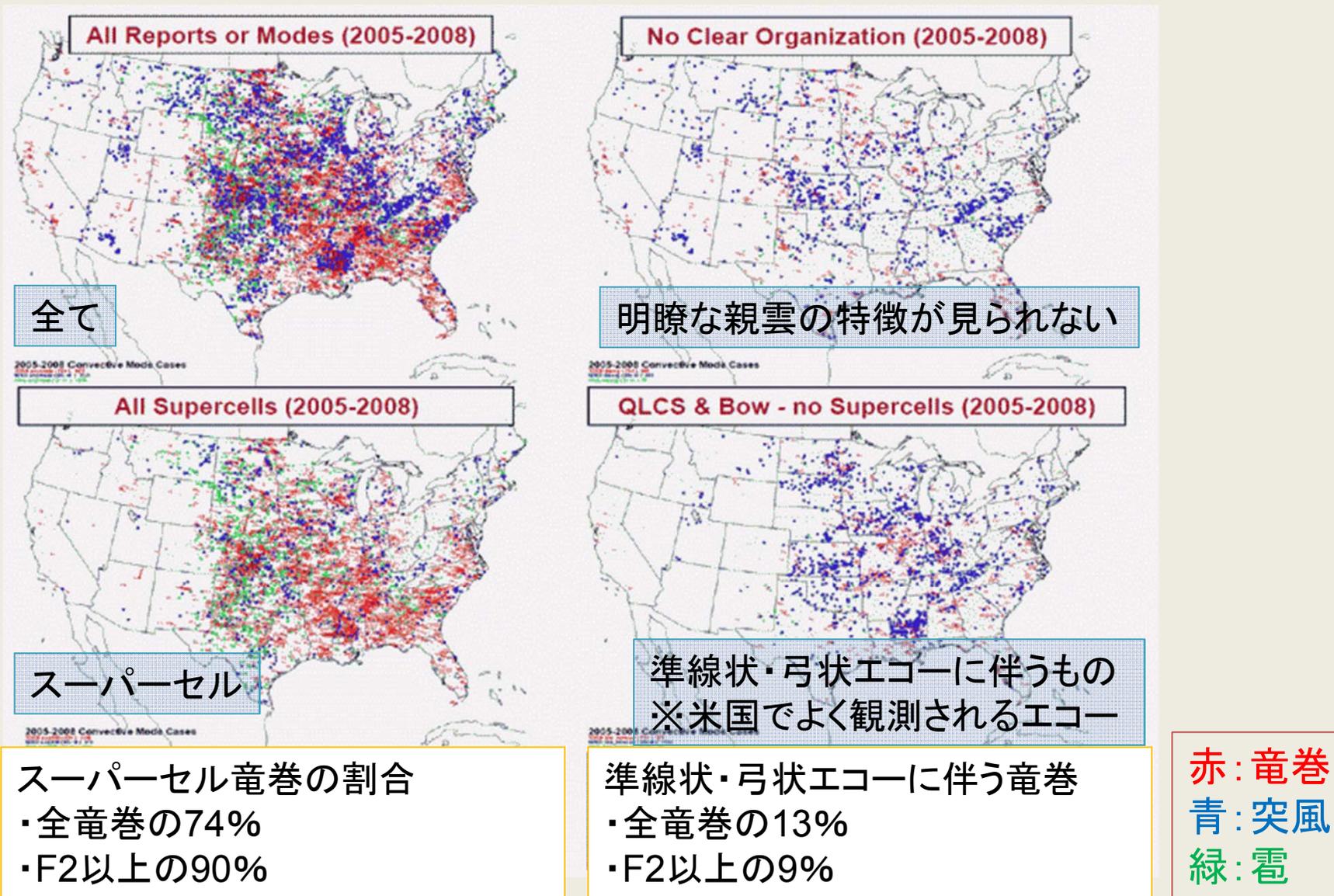


◇ 全米で発生

特に多いのが中部のTornado Alley
(竜巻の通り道)



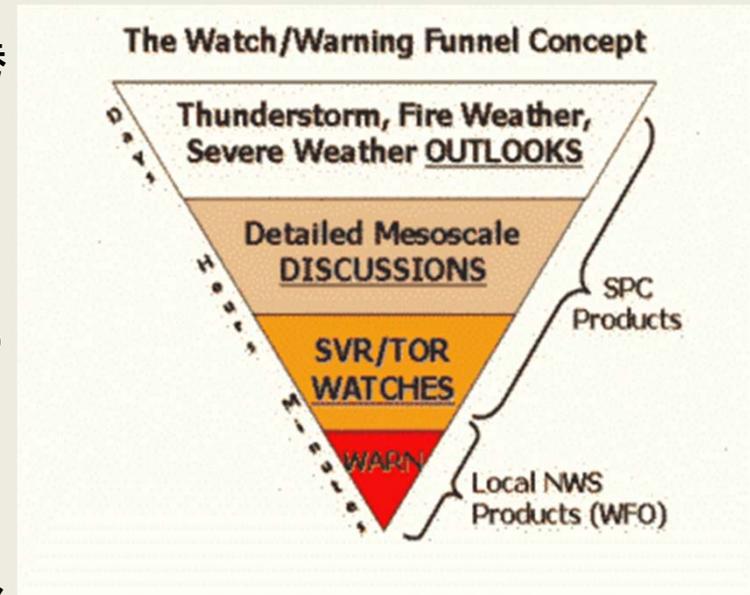
米国の竜巻の親雲別発生状況



→日本と異なり、スーパーセル又は準線状・弓状エコーに伴うもので全竜巻の87%、F2以上では99%と、大多数は組織化された親雲に伴うものが多い。

竜巻に関する予報・警報の情報体系 (NOAA/NWS, SPC)

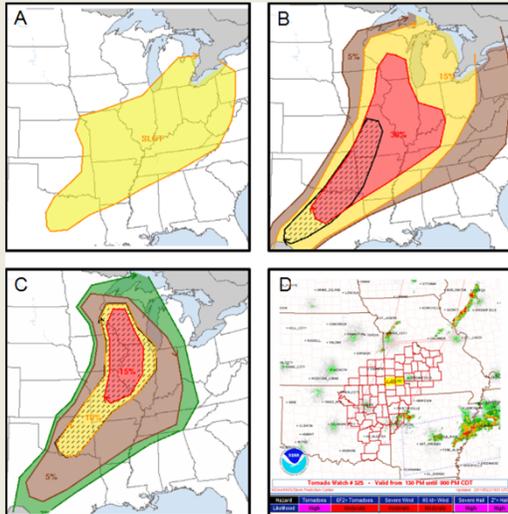
- 現在の情報体系
(SPC発表)
 - アウトック(Outlook) 8日先までの日々の竜巻発生確率等を予測。
 - 考察(Discussion) 予測の根拠を説明。
 - 注意報(Watch) 数時間前に竜巻の発生を予測。
(気象台発表)
 - 警報(Warning) まさに今竜巻が発生しそう、あるいは発生している場合に発表。
- 竜巻警報について
 - ストームベース(Storm Based Warning) 従来は行政区域毎に発表していたが、積乱雲の位置・移動に対応して警報対象領域をポリゴン(多角形)で設定するもの。
 - インパクトベース(Impact Based Warning) どのような被害が見込まれるかなどを、見て/読んで判りやすく表現することで、切迫度を想像しやすくし、積極的な避難行動に結び付けることを目指し業務実験中。



竜巻・シビア現象の予報・警報

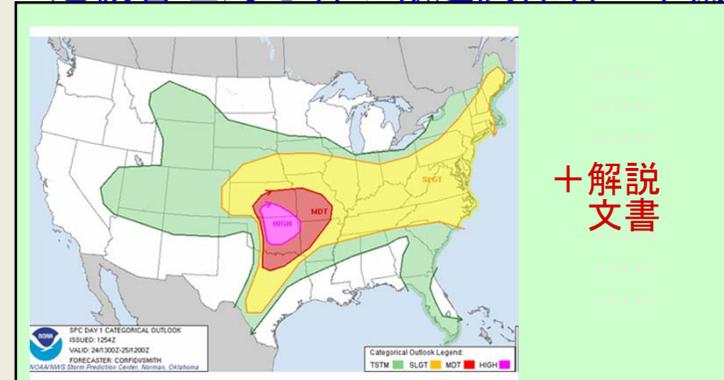
予報(OUTLOOK) 8日前～当日予報

- ・全米を対象に予報する。



考察(Discussion) 注意報発表前～2時間

- ・発達中の中規模現象の特徴と今後起こりうる災害について専門的な解説を行う。
 - ・注意報発表の予告を行うこともある。
- ⇒危機管理対応者や報道関係者に準備を促す



注意報(WATCH) 数時間前

- ・竜巻が発生する可能性が高い場合
⇒ 竜巻注意報



注意報



☆広域で発生する現象が対象。

警報(WARNING)

- ・竜巻が発生しそう、あるいは、発生している場合 ⇒ 竜巻警報

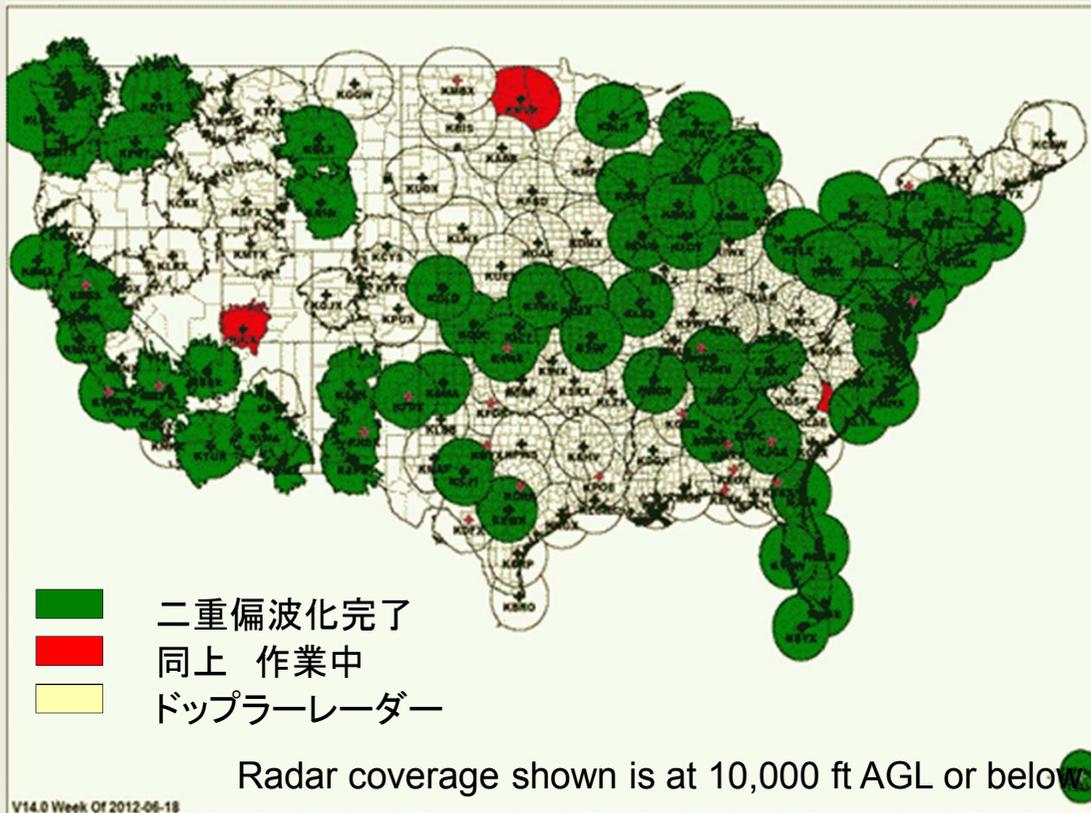
☆レーダーによる竜巻の兆候や大気環境、信頼できるスポッターからの報告などを総合して、警報を発表する。



米国のレーダー観測網

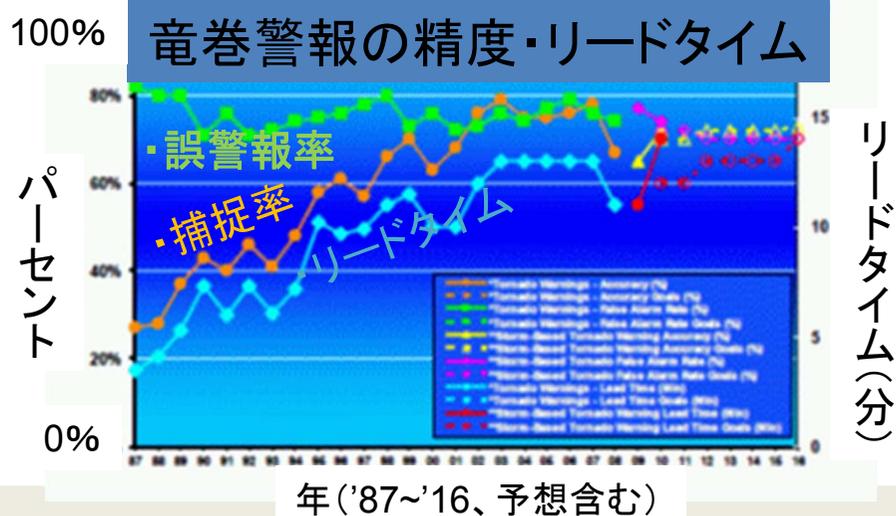
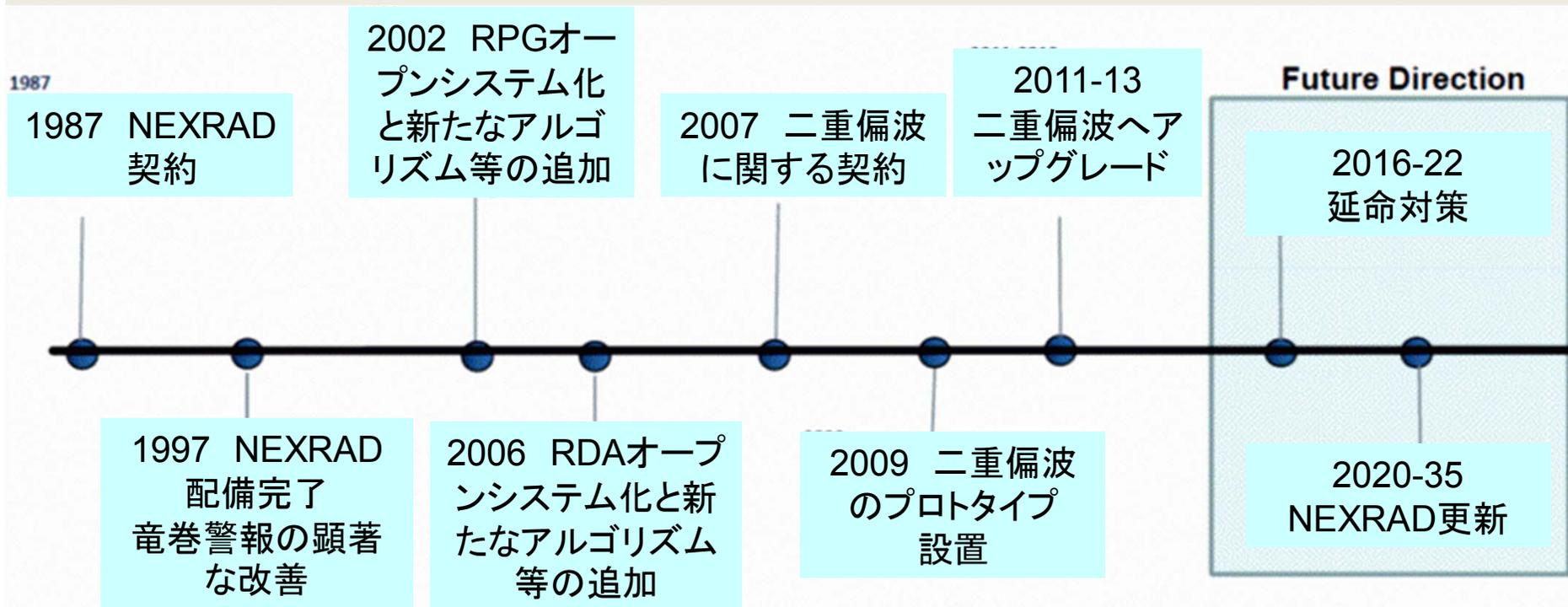


- 全米のドップラーレーダー監視網: NEXRAD
 - 商務省(気象局;NWS)、運輸省(連邦航空局;FAA)、国防省(DOD)
- 各サイトは管轄のNWS,FAA、DODの基地官署
- 全体の運用・維持は、オクラホマ州ROC(レーダーオペレーションセンター)
- 2011~2013年で、二重偏波化を進行中



NEXRADのレーダー
(オクラホマ州ノーマン)

米国のレーダー観測網の発展

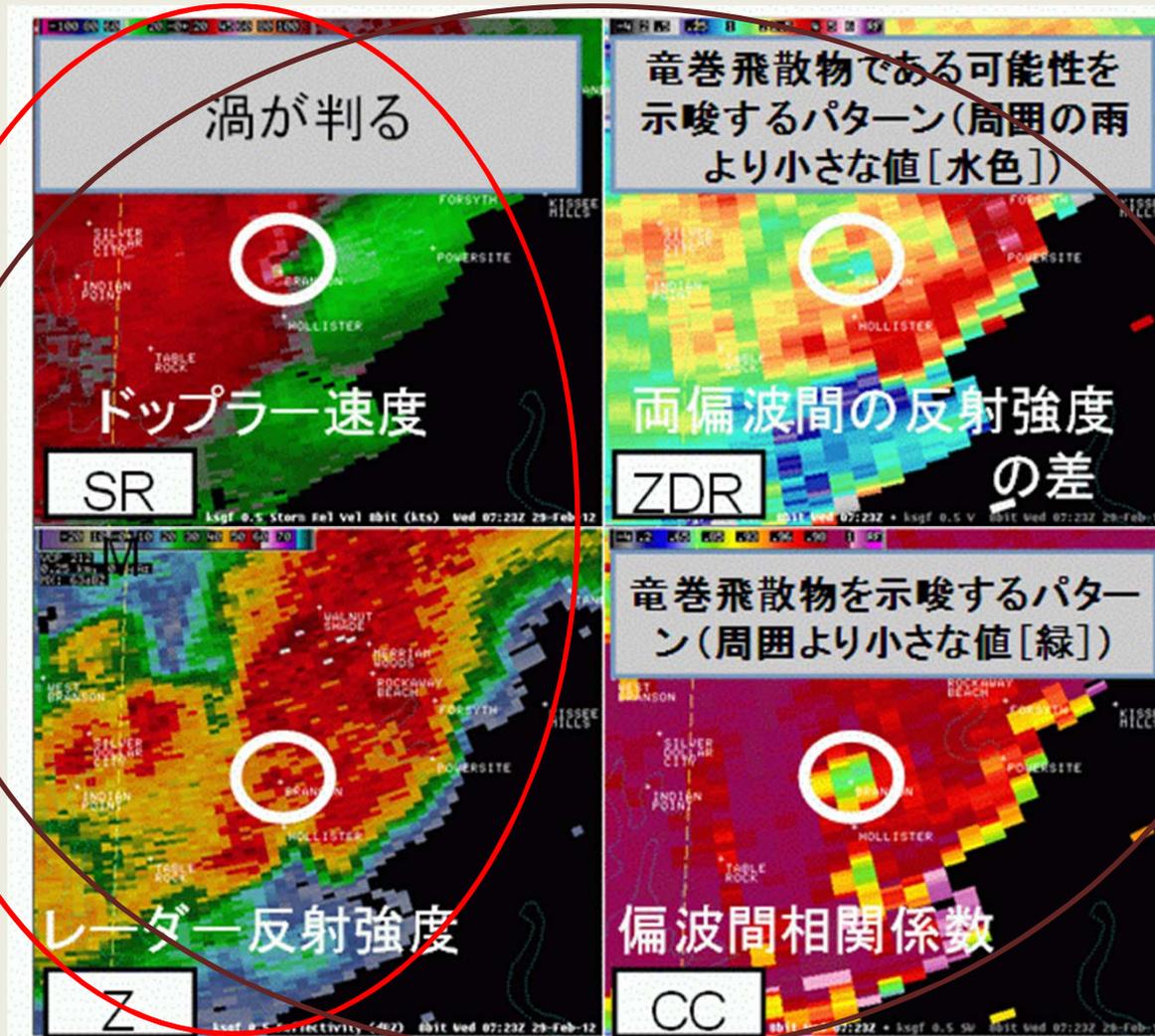


ドップラーレーダー網の展開に伴い 1980年代の捕捉率35%→75%、リードタイム5分→14分へと大幅に改善

二重偏波レーダーによる竜巻飛散物の観測

ドップラーレーダーで判る渦と、偏波情報が示唆する飛散物を参考に竜巻の発生を推定し、警報につなげることができる可能性がある。

従来の
データ



偏波化以降
のデータ

シビア現象の目視情報

レーダー等を補完する目視情報

- 全国で29万人以上。18歳以上で、シビアウェザーに関するトレーニングを受け、地域の気象台に登録されている。無償のボランティア。消防士、警察官、危機管理担当者、アマチュア無線等の登録が多い。

竜巻警報との関係

- 予報官は、スポッターの通報情報に加えて、必ず他の気象資料と共に総合的に判断して、竜巻警報を発表する。

研修

- スポッターの通報情報の品質維持のために、地方気象台が毎年研修を行っている。

通信手段

- 電話、アマチュア無線、インターネットなど

住民への情報提供①

【住民への警報伝達】

…自治体によるサイレンだけではなく、気象ラジオ、TV、スマートフォン等を含めた多様な手段

○NWSにおける情報提供に関する提言

“戸外での地域警報システム(サイレン)と先端技術であるモバイルコミュニケーションの共存”

○自治体における住民に推奨する情報入手手段(オクラホマ州、ミズーリ州ジョプリン市等)

“重複した媒体による情報収集を推進(サイレン、NOAA気象ラジオ、スマートフォン)”

1. 自治体が設置するサイレン

(1)サイレンの特徴

- ・比較的広域への屋外周知
- ・サイレンでは、災害の深刻さやもたらす影響等具体内容は知らせることが出来ない。

(2)サイレンが鳴動する流れ

- ①自治体が気象台やスポッター、地元TV局等からリアルタイムに情報入手
- ②NWSチャットによる気象台との情報交換
- ③市の危機管理担当者が気象情報と目視情報から状況判断
- ④同担当者がサイレンON



2. NOAA(米国海洋大気庁)が運営する気象ラジオ

- ・発表した警報・注意報を伝えるため、NOAA独自でラジオ局を運営。
- ・気象注意報／警報等を自動放送。
- ・162.400MHz～162.550MHzの周波数帯。
- ・聴取するためには気象情報受信専用ラジオ(自動で電源ON)が必要。
- ・価格は数千円で一般に販売。
- ・自治体等において学校や家庭への配布等を実施しているところもある。



住民への情報提供②

3. 報道機関

●地域放送局： 自社監視／専門報道(オクラホマ州)

- ・局員に気象専門家キャスター及びストームチェイサー
- ・自社で竜巻を監視(ドップラーレーダー、車載ドップラーレーダー等)
- ・観測データに加え、NWSチャットからも情報を収集
- ・竜巻発生の可能性がある場合、ストームチェイサーを派遣し実況中継。
- ・独自の中継手段(ヘリコプター、車)
- ・平時は子供に対する出前教室を実施。
- ・従来のラジオ、テレビに加えて、モバイル端末への放送



モバイル端末への放送

4. 民間気象事業者によるモバイル端末等への情報提供

(1) モバイル端末用の情報提供

- ・自分の位置に対する警報発表状況。
- ・地図投影による自分と竜巻の位置検知、竜巻襲来までの予想時刻の提供。

(2) NOAAのウェザーラジオと同等の情報をモバイル端末への配信

iMap Mobile



竜巻への備えと対応について①

○米国における竜巻からの避難対応について

●竜巻に対する基本的な避難策・・・シェルターやセーフルーム等安全な場所への**避難**

【個人による竜巻に対する準備と対応(FEMA、アメリカ赤十字)】

【準備】

- ・家庭内の安全な場所のリストアップ
(地下室、それが無ければ窓の無いバスルームや低層階のクローゼット等)
- ・物資の準備(応急用品、食糧・水、ラジオ、ライト)

【対応】

- ・注意報発表時には、ラジオやTVからさらなる情報収集・周囲の気象状況の確認
- ・警報発表には、シェルター・セーフルーム等安全な場所への避難

【竜巻に対する集客施設等における避難(ミズーリ州ジョプリン市)】

- ・ミズーリ州では高齢者施設と公共の病院について避難計画策定義務あり。
- ・商業施設や民間企業については、避難誘導計画の策定は義務化されていない。



○普及・啓発の取組について

- ・竜巻多発期前の普及・啓発(ポスター等)
- ・自治体向けの防災教育の実施、一般住民への防災教育キットの作成
- ・StormReady プログラム
危機管理体制の確保や防災セミナーの実施等、竜巻を含むStormに対応する体制が整っている自治体や団体等に対して、“StormReadyコミュニティー”であるとNWSが認定・公表するもの。
- ・その他、キャンペーンやイベント



竜巻への備えと対応について②

○シェルター及びセーフルームの設置

- ・竜巻からの避難はシェルター及びセーフルームへの避難が基本。
- ・政府および自治体において、シェルター及びセーフルームの整備を推進。

(1) FEMAによるシェルター及びセーフルーム等の建築の手引き

- ・住宅用竜巻避難場所建築の手引き
- ・コミュニティ用セーフルーム建築の手引き
- ・建物内の避難場所の選び方の手引き(ケーススタディ)

(2) FEMAや州政府、市役所による建物への備え

【シェルター及びセーフルームの推進】

- ・住家や学校のシェルター及びセーフルームやコミュニティーセーフルームに補助金を出して推進。
FEMA(地域共同体開発ブロック助成金:CDBG)や州政府の補助金。
- ・公的施設や病院等には、シェルターの設置を義務付けている州や市がある。
(オクラホマ州やオクラホマシティ)
- ・集客施設におけるセーフルームについては補助・義務はなく、自助努力による設置。

【建築基準(ミズーリ州ジョプリン市の例)】・・・基準を定めているのは州・自治体

- ・市の建築基準にシェルター及びセーフルームの設置は含まれていない。
- ・風害に対し、住家の留め金とアンカーボルトについての建築基準はある(結果としてEF0-EF2に耐えた)。

(3) 交通機関における備え

- ・空港(オクラホマシティ空港)・・・シェルターが設置されている(空港のトイレ)。
- ・道路(オクラホマ州内)・・・シェルターの整備はされていない。
警報周知等特段のシステムは無く、各個人で避難。

※シェルター、セーフルームは、竜巻等の強風などによる被害を防ぐ構造物で、ほぼ同義。ビルや家屋の一部に組み込むことも多い。



被災地への支援

◎FEMAや州政府における被災地支援

大統領災害宣言 (presidential declaration) ののちに、連邦政府から支援メニューが提示される。

(1) 個人・事業者に対する住家の支援

- ・中小企業庁(SBA)による低利融資
- ・地域開発定額交付金プログラム(CDBG)による住宅所有者支援(住宅都市開発省) 等

(2) 危機軽減補助金プログラム(HMGP: Hazard Mitigation Grant Program)

- ・被害からの住宅再建の際に、セーフルームの整備等の将来的な被害を軽減することを目的とした補助金が支給される(被害額の15%)。

◎被災地への支援について(ミズーリ州ジョプリン市の事例)

- 2012年5月22日 ミズーリ州ジョプリン市でEF5の竜巻が発生
死者 161名、負傷者1200名、全壊3500棟

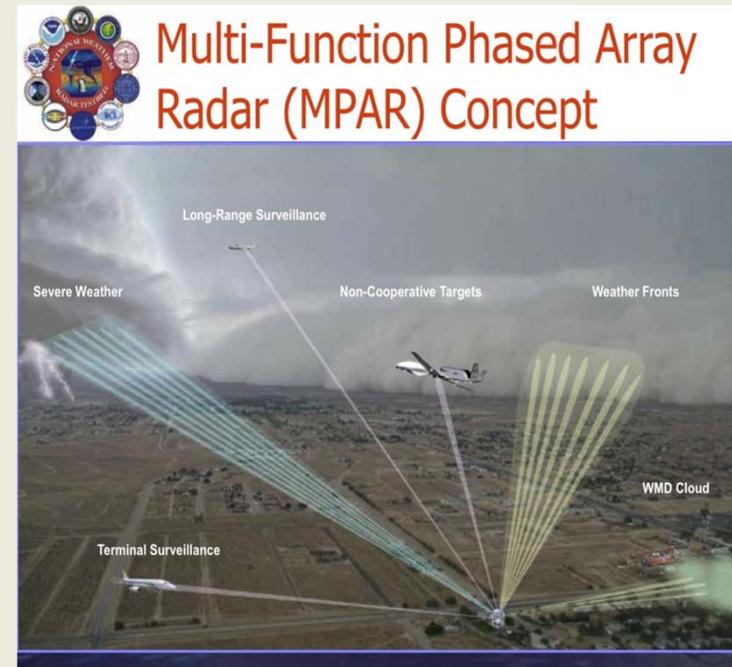
- ・FEMAは発災後30日以内に586個の仮設住宅を提供(期限2年間)。
- ・仮設住宅の敷地内に複数の竜巻シェルターが設置された。



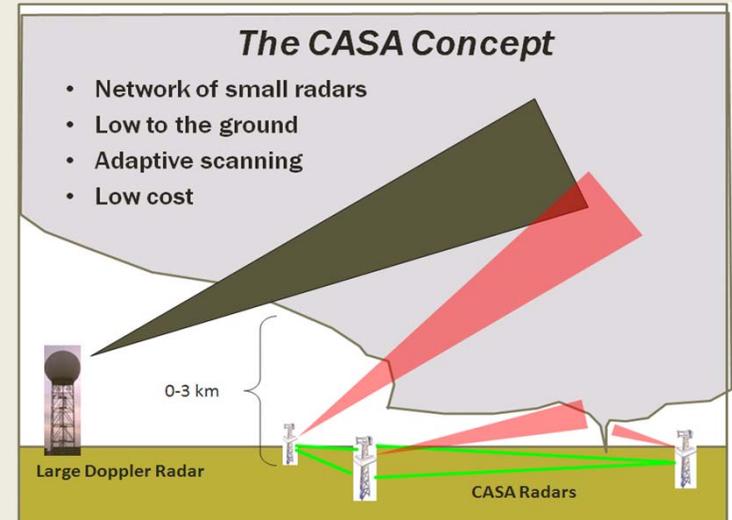
- ・復興に際し、連邦政府の支援を受けた。
災害復興支援 総額1.77億ドル
(75%:連邦政府、15%:ミズーリ州政府、10%:ジョプリン市)
- ・市を離れた人口が戻ってくるよう、現在も復興は続いている。

気象情報の高度化に関する研究 (監視)

- Phased Array Radar
(フェーズドアレイレーダー)
 - 降水を高速にスキャン
 - シビア現象の短時間の盛衰を捉える
 - 多機能化する計画も



- CASA 計画 (2003-2013年)
 - 安価なレーダーでネットワーク
 - 低い高度の現象を的確に捉える



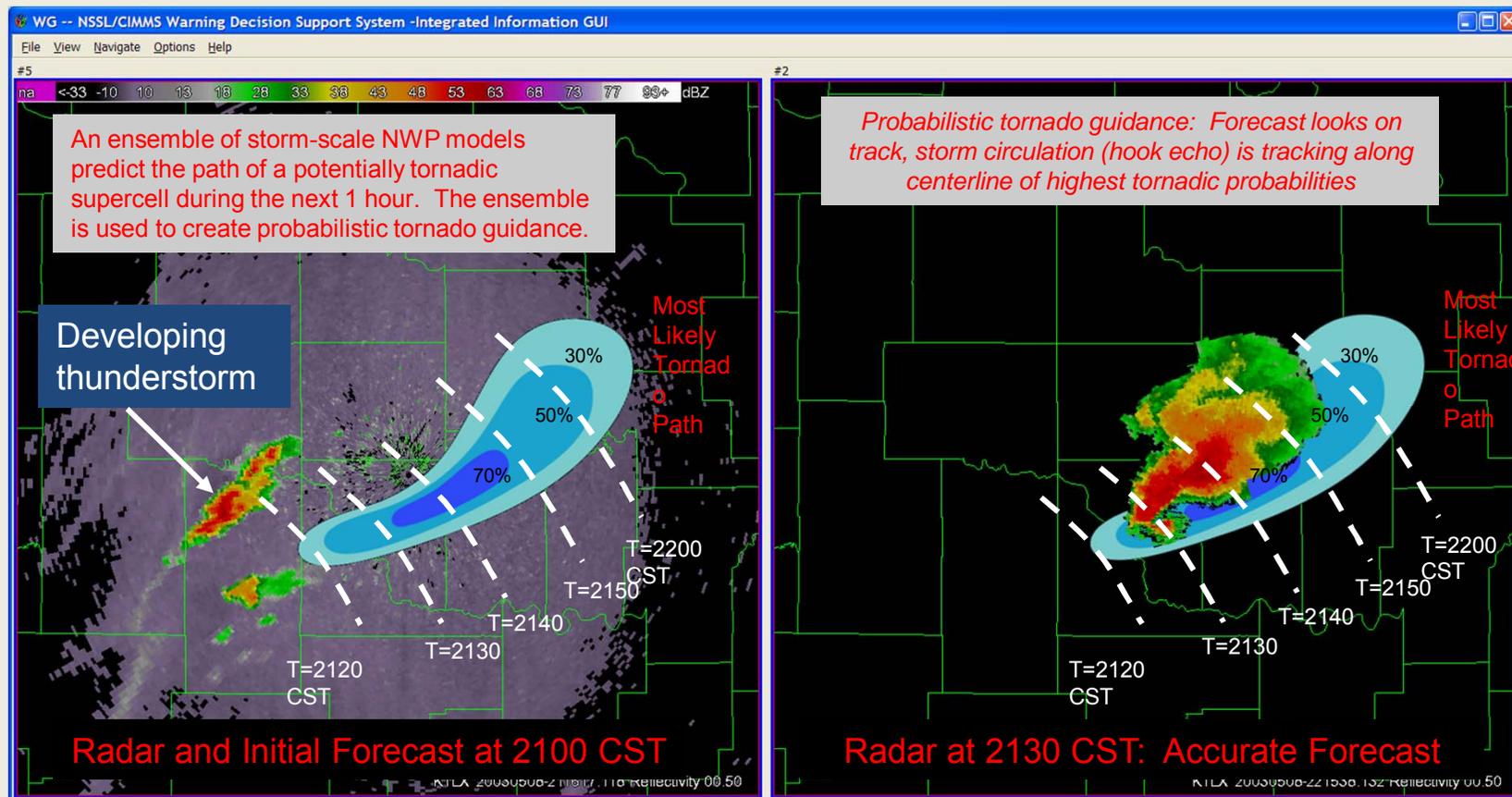
高度1km以下のレーダー探知範囲

将来の警報に関する研究

-2020年のビジョン-

予報モデルを使い、観測データを取り込みながら、竜巻の発生可能性を予測する。

→精度向上、確率情報の提供、リードタイムの延長を図る。



Stensrud et al. 2009 (October *BAMS*)

まとめ

- 米国の竜巻の特徴

- 年間1000個以上発生し、死者が500名を超える年もある極めて重大な災害
- 多くの強い竜巻が、発達した積乱雲の一種であるスーパーセルに伴って発生

- 米国での竜巻に関する予報~警報

- 1~8日先の予測、数時間前にその発生を予測する注意報、発生直前もしくは発生を警告する警報があり、時間の経過と共に段階を踏んで発表
- 我が国との違いとして、1~8日先の予測での発生確率の発表、竜巻警報の存在とその対象とするエリアが行政区域でなく積乱雲の位置と移動に基づく多角形である
- ジョプリンの竜巻被害を受け、住民の積極的な避難行動につながる情報を含む警報を実験

- 米国の竜巻に関連した観測網

- 全米をカバーする現行のドップラーレーダー網(NEXRAD)は、スーパーセルの検出に極めて有効であり、整備により竜巻警報の精度、リードタイムが向上してきた。
- さらに現行のレーダーを改造し、竜巻等による飛散物の検出可能な二重偏波レーダー化を推進中
- 竜巻警報の発表における、信頼度の高いスポッター(消防署員、警察官、危機管理者などのボランティア)からの通報(目撃情報)の活用

まとめ(続き)

- 住民への情報伝達
 - 自治体によるサイレン中心から、気象ラジオ、TV、スマートフォン等を含めた多様な手段による提供へと変化中
- 竜巻からの避難方策
 - シェルター及びセーフルームへの避難が基本となっている。
 - 連邦政府及び地方自治体においてシェルター及びセーフルームの整備を推進している。
 - 公的施設についてはシェルターの設置を義務付けている州や市があり、また、住家へのシェルター及びセーフルームの設置に補助金を出して推進している州や市が存在がある。集客施設は自助努力による設置が基本となっている。
- 将来を見据えた研究・開発の推進
 - 高速・高分解能なフェーズドアレイレーダー等の開発
 - 数値モデルを用いた予測精度向上やその利用技術の高度化に向けた研究開発
 - 竜巻やシビア現象のメカニズム解明に関する研究

参考

◎竜巻への対応に関する補足事項(ミズーリ州ジョプリン市の事例)

(1) 普及・啓発

- ・竜巻シーズン(4~5月)の前に、一般向けの啓発活動を十数回実施する。
(竜巻からの避難について、屋外より屋内、地上より地下、2階以上は避ける)

(2) 事前の準備

- ・市としては集客施設においてもぜひシェルター設置・避難計画策定を行って欲しいとは思っているが、実態としては必ずしも進んでいる状況ではなかった。
- ・Joplin市におけるシェルター設置率:被災地域以外25~30%、被災後の地域では65~70%
- ・(被害後)寄付金を元に、住民に気象ラジオを配布した。
- ・(被害後)住家にシェルター設置を義務づけることを考えたが、コストがかさむことから、人口減が懸念されたため、実施せず。

(3) 竜巻警報の伝達と住民の対応行動

- ・Joplin市としては、サイレン、気象ラジオ、携帯電話を使っての情報収集を実施するよう教育・指導している。
- ・竜巻警報発表後の対応として、市としては直ちにシェルターへ避難して欲しいが、実態としてはまずは周囲の気象に気をつけるよう指導している状況。
竜巻接近後もシェルターに避難せず窓の外を見に行ってしまう住民もいる。

(4) 竜巻発生後の市の行動

- ・Joplin市としては、EF5の竜巻を経験するのは初めて。
- ・被災直後は、飛散物により携帯電話、ランドライン、インターネット施設が破壊され、コミュニケーションが取れる状況では無かった。
- ・電気や道路標識も破壊され、飛散物が散乱している状況であったため、まずは瓦礫を除き、交差点に名前を書くことを行った。瓦礫は1million m3の量に上った。
- ・行方不明者の搜索が最も大変だった。レスキューについてはテキサスやニューヨークから支援があった。リソースが十分に行き渡るまでは、人の多いような場所を捜す等、効率的な搜索を心がけた。
- ・基本的な対応は他の災害に対する対応と同様(①サーチ&レスキュー、②全体統制、③建物の保全)。