

2013年5月20日午後に米国オクラホマ（Oklahoma）州 Moore で発生した巨大なトルネードについて

米国時間で2013年5月20日午後、オクラホマ州の州都オクラホマシティの南部ムーア（Moore）で巨大なトルネードが発生し、現在分かっているだけで24名の死者をだす大災害をもたらした。オバマ大統領はオクラホマ州を「大規模災害地域」に指定した。報道の情報しかないので、実際のところは不明な点が多く、また、気象学的な情報は極めて断片的にしか得られていない。このためこの巨大なトルネードについて詳細を知るとはもう少し時間がかかるだろう。報道によると、トルネードはムーアの西で発生し、約40分で30kmほど東方向に移動した。直径は3.2kmあったという。これはトルネードとしては巨大なものといえる。未確認な情報であるが、このトルネードの強さはEF4、あるいはEF5にランクされる可能性があるという*1。強度でも最強クラスのトルネードである。ここでEFスケールというのはEnhanced Fujita Scaleのことで、竜巻やダウンバーストの強度を表す藤田スケール（Fスケール）を改良したものである。日本ではまだあまり用いられていないが、EFスケールもFスケールと同様にEF0～EF5の6段階あり、数字が大きいほど風速が大きく被害も大きい。（参考：<http://www.spc.noaa.gov/efscale/>）この地域では同様の強いトルネードが1999年に発生しており、大きな被害が出ている。

このようなトルネードの発生を説明するには、いくつかのスケールで考える必要がある。最も大きなスケールは大陸スケールで、気象学では総観規模という。北米大陸ではこの季節に多くのトルネードが発生する。特に今回トルネードが発生したオクラホマ州やカンザス州は発生数が多い。この時期、この地域ではメキシコ湾からの湿潤な下層風と北からの寒気、さらにロッキー山脈を超えてくる乾冷な空気がせめぎあう。下層に湿潤な空気があり、上空に乾いた冷たい空気がある状態は非常に不安定な状態で、積乱雲のような対流を発生させるエネルギー（対流有効位置エネルギー：CAPE）が非常に大きくなる。このため対流圏界面まで達する激しい積乱雲が発達しやすい。さらに風が高さとともに時計回りに回転する（鉛直シア）場になりやすく、このような大気場ではスーパーセルと呼ばれる巨大な積乱雲が発生することがある。

雲のスケールでは、このような巨大積乱雲の形成がトルネードの発生要因となる。今回のような強いトルネードの多くはスーパーセルによってもたらされたと考えられる。通常の積乱雲はたかだか30分から1時間程度の寿命であるが、スーパーセル積乱雲は、数時間にわたる寿命と非常に強い上昇流、さらに雲内に大きな渦（メソサイクロン）を持っている。上昇流の大きさは30m/s～50m/sにも達する極めて強力なものである。

最も小さいスケールとしてトルネードのスケールでは、渦の強化メカニズムを考える必要がある。大気も流体であるので、そのなかで渦が強化するメカニズムには、水平渦が立ちあがることと、その渦を引き伸ばすことがある。後者は特にスケートのスピンのたとえられる。すなわち腕を伸ばしてゆっくりスピンしていたスケーターが、腕を縮めると高速

にスピンするというものである。物理ではこれを角運動量保存という。トルネードの形成では渦の半径を縮めることがスーパーセルの強力な上昇流によってもたらされる。実はこのほかにもう一つ渦を強化するメカニズムがある（ソレノイド効果）。これらがどの順でどのくらい効果的に働いたのか。さらにそれぞれのメカニズムがスーパーセルの何によってもたらされたのかが解明されなければ、トルネードの発生を説明したとはいえないのである。

現時点での情報から推測すると、非常に大きな対流有効位置エネルギー（CAPE）の大気場に鉛直シアがあり、スーパーセル積乱雲が発生し、そのなかの強力な上昇流が渦を引き伸ばすことで強力な竜巻が発生したと考えられる。一方でなぜこれほど巨大なトルネードとなったのか？なぜ40分という長寿命であったのか？なぜこれほどまで大きな風速になったのかなど、謎の多いトルネードである。特に風速の大きさについては、トルネード多発地帯で対策がとられていたにもかかわらず大きな人的災害がもたらされたことと関連して、今後の詳細な研究が必要である。さらにいえばスーパーセル積乱雲内の上昇流の大きさとその水平規模、雲内にあることが予想されるメソサイクロンの規模や強さなど、多くの解明されるべき点が残されたトルネードである。

オクラホマやカンザスはトルネード多発地帯としてよく知られているが、今回のトルネードも日本にとって対岸の火事ではない。トルネードあるいは竜巻は、季節や時刻、場所を選ばず突如として発生する（もちろん発生しやすい場所や季節はある）。地球の大気にはそのようなメカニズムが備わっているのである。我が国の竜巻では昨年（2012年）5月6日に関東地方で発生した竜巻が記憶に新しい。過去には1999年の豊橋・豊川の竜巻、2006年の延岡の竜巻、同年の北海道佐呂間町の竜巻など、我が国でも大きな災害をもたらした竜巻には枚挙に暇がない。意外に思われるかもしれないが、単位面積あたりにすると、日本の竜巻の数は米国の数の半分にも達する。

今のところ国内では藤田スケールでF3が最強の竜巻で、米国にみられるF4やF5の強度のものは発生が確認されていない。しかしながらそのことは国内ではF4以上の竜巻が発生しないことを意味しているわけではない。積乱雲にとって竜巻を発生させることは、人間がため息をつく程度の容易なことなのである。すなわち積乱雲全体のエネルギーに比べて竜巻のエネルギーはわずかな量である。積乱雲が発達するときは常に竜巻の発生に対する警戒が必要である。最近、地球温暖化に伴い今世紀後半には竜巻発生のパテンシャルが高まることを気象庁が発表した。そのことは必ずしも実際に強い竜巻が多数発生するということを意味しているわけではないが、今後の長期的な対策が必要であることは言うに及ばないことである。

（2013年5月22日：初稿：坪木和久）

* 1：5月22日の報道で米気象局はEF4をEF5に修正した。年間1300個程度も発生する米国でも、この強度のトルネードの発生はきわめてまれである。