

2021年2月テキサス寒波の予測可能性

八巻俊則(筑波大学理工情報生命学術院), 松枝未遠(筑波大学計算科学研究センター)

1. はじめに

2021年2月中旬, 30°Nに位置するテキサス州(米国)は, 1989年12月に次ぐ観測史上2番目の低温に見舞われた(Doss-Gollin et al. 2021, Bolinger et al. 2022). この寒波は, 社会経済や人間の健康面に大きな影響を与え, 経済損失は米国内で240億ドル, 死者は240人を超えた. なかでも電力不足は甚大で, 予測よりも深刻な低温だったため発電所設備の凍結防止策の実施や燃料の事前供給が間に合わず電力供給が停止した(Busby et al. 2021, Kambonta 2021).

Lee (2021)は, 2021年1月初旬に北半球で発生した成層圏突然昇温がこの低温の起源であることを明らかにした. また, 北極振動指数は1950年以降最低の-5.3を記録し, 中緯度で低温となりやすい環境であった(NOAA 2021). Bolinger et al. (2022)は, 500hPa面での傾圧不安定が低気圧を強化していたことを明らかにした. このように成層圏と対流圏が低温に影響を及ぼしていたことが明らかになったが, なぜこの寒気が30°N付近まで南下したかは明らかになっていない.

Millin and Furtado (2022)は, 1-2か月アンサンブル予報(S2S)データを使用し, 2月初旬にLabrador海で発生したロスビー波の碎波が低温予測に影響を与えていることを明らかにした. また, NCEPの予報初期日が1月28日の予報は20%の確率でこの低温を予測できていた. 1-2か月よりも短い1-2週間スケールの予測は人々の関心が高く, より高い精度が求められるが, この低温事例に関して1-2週間スケールでの予測可能性を明らかにした研究は存在しない.

本研究では, 2週間先までを対象とした現業中期アンサンブル予報データ(TIGGE;

Swinbank et al. 2016)を使用し, 寒気南下の要因およびその予測可能性を明らかにする.

2. 使用データ

実況大気場の把握には, 再解析データ(ERA5; Hersbach et al. 2020)を使用する. 気候値は, 長期平均に対し季節内変動を取り除くためにLanczos filter (Duchon 1979)を適用したものを使用する. 偏差は, 再解析値と気候値の差と定義する.

予報データは, TIGGEのうち比較的精度が良いECMWF(欧州), JMA(日本), NCEP(米国), UKMO(英国)のものを使用する. 予報初期日における各予報機関のコントロールランをその日の解析値とし, 予測精度の検証にはこれを使用する.

本研究の解析対象領域はテキサス州を含む30°-35°N, 95°-105°Wとする. 変数は850hPa面のジオポテンシャル高度(Z), 温度(T), 東西風(U), 南北風(V)を使用する. また, 本研究の解析対象時刻はすべて12UTCとする.

3. 結果と考察

2月初旬にアラスカ州周辺に位置していた寒気は, 傾圧不安定によって低気圧とともに強化されながら南東方向へ移動し2月8日には40°Nに到達した. このときロスビー波の低気圧性碎波が発生し, 高緯度で高温偏差・中緯度で低温偏差の北極振動負位相(AO-)が励起された. しかし, 2月11日頃までは95°Wのメキシコ湾岸まで北大西洋高気圧が張り出しており, 対象領域付近では強い南風によって寒気の南下が妨げられていたため(図1a), この時はまだ, 対象領域では極端な低温は観測されていなかった. この高気圧は2月13日にかけて東進

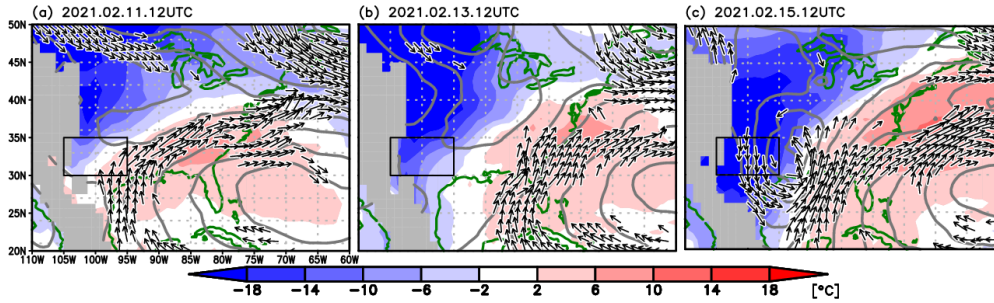


図1 (a)2021年2月11日,(b)13日,(c)15日における再解析値。陰影が T850 偏差[°C], 等値線が Z850[m], 矢羽が UV850(≧10)[m/s]を示す。

し、南風強風域も東へ移動した(図1b)。2月15日には対象領域周辺には寒気とともに低気圧が南下し(図1c)、温度偏差は -4σ を下回った。この低気圧の中心の西側に位置する対象領域では強い北風が吹き込んでいたため、低気圧とともに輸送された寒気に加え、北から更なる寒気が供給されていた可能性が考えられる。これらの結果から、北大西洋高気圧に伴う南風と、低気圧に伴う北風がテキサス州の極端な低温と関連する可能性が示唆された。

最低温となった2021年2月15日を対象

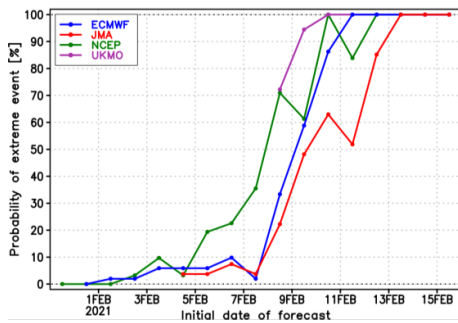


図2 各予報機関による2021年2月15日を対象としたテキサス周辺の T850 確率予報。横軸が予報初期日で、縦軸が予報確率 [%]を表す。予報確率は、各機関のアンサンブルメンバーのうち気候学的1%-ileを下回る低温を予測したメンバーの割合を表す。

とした各予報機関の中期アンサンブル予報(図2)に注目すると、UKMOが最も高精度で6日前の2月9日初期日の予報から90%以上の確率でこの低温を予測できており、次いでNCEP, ECMWFが高精度だった。JMAの予測精度が最も低く、2月14日初期日の+24時間予報でもすべてのアンサンブルメンバーがこの低温の予測をできていなかった(図3b)。また、各予報機関の予測精度の変化に着目すると、急激にアンサンブルスプレッドが低下する日が存在した(図3)。すべての予報機関でアンサンブルスプレッドが大きい2月9日初期日の予報デー

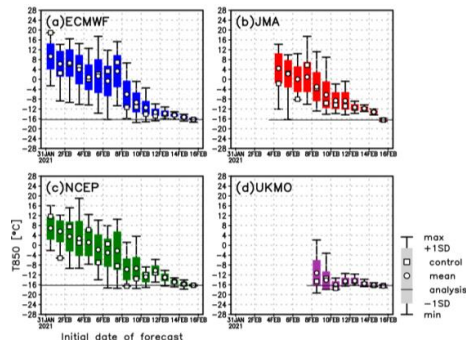


図3 (a)ECMWF, (b)JMA, (c)NCEP, (d)UKMOによる2021年2月15日を対象とした T850(領域平均)のアンサンブル予報。横軸は予報初期日、縦軸は T850 予報値[°C]を表す。

タを使用し、2月15日対象日の温度予測上位(下位)3分の1メンバーを高温(低温)メンバーとした。極端な低温との関連が示唆された2月13日の高気圧、2月15日の低気圧に注目し、高温・低温メンバー間の差を比較した。

まず、2月13日における北大西洋高気圧

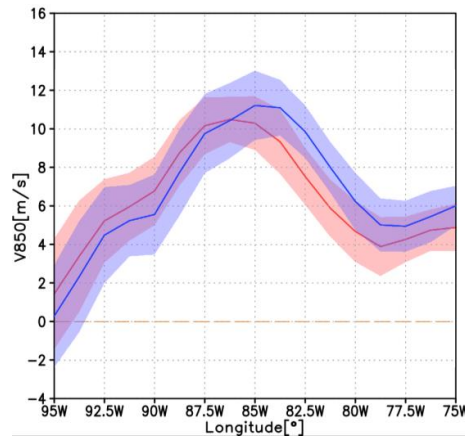


図4 ECMWFによる2021年2月9日予報初期日、2月13日対象日における20°-30°Nで平均したV850予測の東西分布。赤線は2月15日対象日で高温予測した17メンバー(高温メンバー)の平均、青線は低温予測した17メンバー(低温メンバー)の平均、色幅はそれぞれの平均±1σを表す。

が2月15日の低温に与える影響を調査した。北大西洋高気圧の西縁を捉える指標として20°-30°Nで平均した南北風を使用した。高温・低温メンバーそれぞれの平均南北風が極大となる経度に注目すると、高温メンバーはより西に、低温メンバーはより東に位置していた(図4)。これは2月13日の予測値における北大西洋高気圧が西(東)に位置するほど2月15日では対象領域が高温(低温)になったことを意味する。つまり、北大西洋高気圧が東へ移動していたことによってその西側に寒気が南下しやすい環境が形成されたことが示唆された。また、20°-30°Nで平均した実況の南北風極大経度は、低温メンバー平均の極大経度よりも更に東に位置した(図省略)。つまり、北大西洋高気圧の東進の大小が対象領域の気温予測の高低に影響を与えていたことが明らかになり、アンサンブルメンバーの多くがこの東進を予測できなかったことが全体的な高温予測傾向につながった可能性が示唆された。

次に、2月15日に南下してきた低気圧が当日の低温に与える影響を調査した。実況のジオポテンシャル高度、南北風に注目すると対象領域から北東方向の五大湖南西部(45°N, 95°W付近)にリッジが形成され、それに沿うように強い北風が吹き込んでいた(図5a)。このことからリッジに沿うように強い寒気をもたらされ、対象領域が極端な

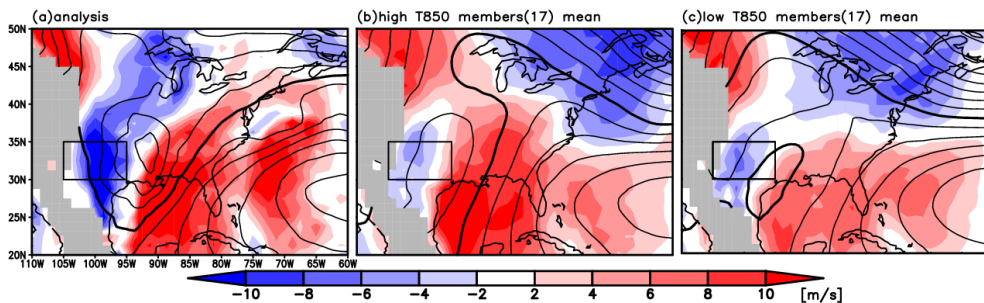


図5 ECMWFによる(a)2021年2月15日の解析値、および2021年2月9日予報初期日、2月15日対象日予測の(b)高温メンバーと(c)低温メンバーの平均値。陰影がV850[m/s]、等値線がZ850[m]を示す。

低温となった可能性が示唆された。高温メンバー平均ではそのリッジが再現されておらず、対象領域から北東方向の五大湖南西部では実況とは逆向きの南風が予測されていた(図 5b)。つまり、北風による寒気移流が再現されていないため高温予測になったと考えられる。また、低温予測メンバー平均では、実況と似たような北東方向のリッジと、それに伴う北風が再現されていたが(図 5c)、実況ほどの強度は見られなかった。これらの結果から、北風の弱さが全体的な高温予測傾向につながったと考えられる。ECMWF の複数予報初期日からの 2 月 15 日予測を比較すると、初期日が 2 月 10 日と 2 月 11 日の間で急激にアンサンブルスプレッドが低下した。2 月 11 日初期日の予測では北東方向のリッジの予測精度が向上し、ほとんどのメンバーでリッジ、およびそれに伴う北風が再現されていた(図省略)。このようにリッジの予測精度が向上するに伴い温度の予測精度も向上することから、両者に密接な関係が示唆された。

4. まとめと今後の課題

本研究では、現業中期アンサンブル予報データを使用し、2021 年 2 月中旬にテキサス州で発生した寒波の原因、およびその予測可能性を調査した。

先行研究から、2021 年 1 月初旬に北半球で発生した成層圏突然昇温がこの寒波の起源であり、ロスビー波の低気圧性砕波によって AO- が励起され中緯度が低温となりやすい環境にあったこと、また対流圏中層の傾圧不安定で低気圧が強化されたことは明らかになっていた。本研究ではそれらに加え、北大西洋高気圧が東進し、寒気がさらに南へ輸送されやすい環境を形成したこと、また五大湖南西部のリッジが寒気を南へ輸送する役割を担っていたこと、さらにその寒気が低気圧に伴う北風によってテキサス州にまで引き込まれていたことを明らかに

した。

最低温となった 2 月 15 日を対象とした各予報機関のアンサンブル予報から UKMO の予測可能性が最も高いことがわかり、6 日前から 90%以上の確率で予測可能であった。また、ECMWF の予測では北大西洋高気圧の東進、五大湖南西部のリッジを予測できたメンバーの温度の予測精度が高いことが明らかになった。しかし、多くのアンサンブルメンバーが高気圧の東進とリッジの予測ができなかったため全体的な高温予測傾向となったと考えられる。また、五大湖南西部のリッジと、それに伴う北風の予測不確実性は、温度の予測不確実性に大きな影響を与えている可能性が示唆された。

今後は、高温・低温メンバー間の差が生じた要因やリッジの予測不確実性の要因を明らかにする必要がある。

参考文献

- Bolinger, R. A. et al., 2022: An assessment of the extremes and impacts of the February 2021 South-Central U.S. Arctic outbreak, and how climate services can help. *Wea. Climate Extremes*, **36**, 100461.
- Busby, J. W., K. Baker, M. D. Bazilian, A. Q. Gilbert, E. Grubert, V. Rai, J. D. Rhodes, S. Shidore, C. A. Smith and M. E. Webber, 2021: Cascading risks: Understanding the 2021 winter blackout in Texas. *Energy Res. Social Sci.*, **77**, 102106.
- Doss-Gollin, J., D. J. Farnham, U. Lall and V. Modi, 2021: How unprecedented was the February 2021 Texas cold snap? *Environ. Res. Lett.*, **16**, 064056.
- Duchon, C. E., 1979: Lanczos Filtering in One and Two Dimensions. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, **18**, 1016-1022.
- Hersbach, H., et al. 2020: The ERA5 global analysis. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **146**, 1999-2049.
- Kambonta, T., 2021: Grid resilience analysis and planning of electric power systems: The case of the 2021 Texas electricity crises caused by winter storm Uri (#TexasFreeze). *Electr. J.*, **34**, 107044.
- Lee, S. H., 2021: The January 2021 sudden stratospheric warming. *Weather*, **76(4)**, 135-136.
- Millin, O. T. and J. C. Furtado, 2022: The role of wave breaking in the development and subseasonal forecasts of the February 2021 Great Plains cold air outbreak. *Geophys. Res. Lett.*, **49**, e2022GL100835.
- NOAA, 2021: February 2021 Synoptic Discussion. <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/synoptic/202102> (2022.12.26 閲覧)
- Swinbank, R. et al., 2016: The TIGGE project and its achievements. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **97**, 49-67.