

沿岸前線

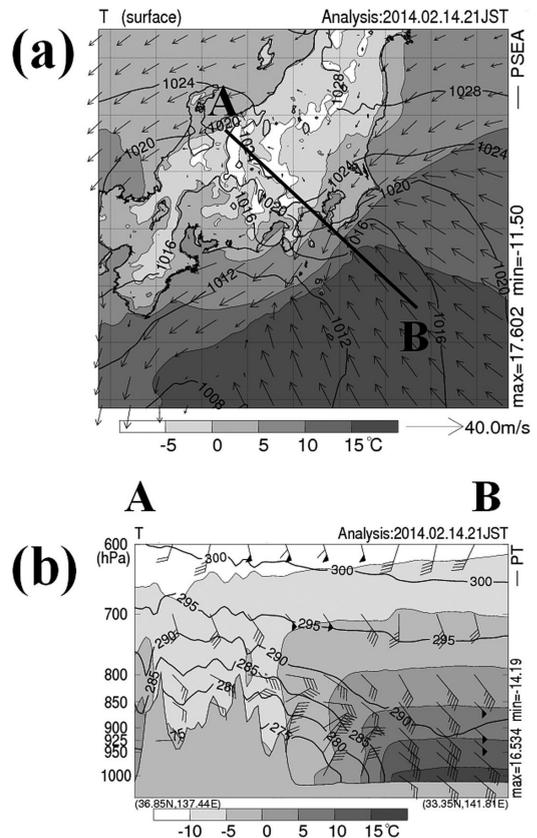
荒木 健太郎*

「沿岸前線」は海岸線に沿って形成されるメソスケールの前線として従来から経験的に予報現場などでも認識されているが、実のところ現象の体系的な理解には及んでいない。本稿では、沿岸前線の性質、沿岸前線が降水に及ぼす影響、総観スケールの環境場等について概観する。

まず、沿岸前線 (coastal front) は「顕著な水平温度勾配 (5~10°C/10 km) を持ち、明瞭な低気圧性の水平風の変化を伴う浅い (一般的に 1 km 以下) メソスケールの前線帯」とであると定義されている (AMS Glossary より)。典型的な沿岸前線は陸上が冷たく、海上が温かい状況で海岸線に沿って形成され、その水平スケールは数百 km に及ぶこともある。沿岸前線は陸風前線と似ているが、陸上に位置することが多いため陸風前線とは呼ばれない (Markowski and Richardson 2010)。また、局地循環としての風の日変化のみが成因というわけではなく、総観スケールの風が重要であることも沿岸前線の特徴である。

元来、沿岸前線はアメリカ東海岸の New England で冬季に温帯低気圧が接近するときに海岸で形成される局地前線を指す言葉で (Bosart *et al.* 1972 ; Bosart 1975)、日本国内ではこれを当初は海岸前線と呼んでいた (青木 1976)。Fujibe (1990) は気象庁アメダスを用いた統計解析から、関東平野の沿岸前線の気候学的特徴について報告している。この先駆的研究以降、国内では沿岸前線という言葉が定着したようである。それによれば、沿岸前線は非降水時であれば暖候期よりも晩秋から冬にかけて多く発現し、日中よりも夜間に多い。また、降水時の沿岸前線は冬季の温帯

低気圧接近時に発現し、New England の沿岸前線と同様な特徴を持っているとされている。第 1 図に、関



第 1 図 気象庁メソ客観解析による沿岸前線発現時 (2014年2月14日21時) のメソスケールの環境場。(a) 地上気温 (塗分け; °C) と海面気圧 (等値線; hPa)。(b) AB 線分に沿った気温 (塗分け; °C) と温位 (等値線; K) の鉛直断面図。(b) の矢羽は水平風を表す。

* Kentaro ARAKI, 気象庁気象研究所。

araki@mri-jma.go.jp

© 2015 日本気象学会

東甲信地方で大雪が発生した2014年2月14日21時（日本時間）の気象庁メソ客観解析による関東平野周辺の環境場を示す。関東平野の南海上に明瞭な水平温度勾配を持つ沿岸前線が冷たい北東風と温かい南東風によって形成されている。この鉛直断面を見ると、前線北側では高度約1 km以下で山地にブロックされるように北寄りの冷たい風が吹いていた。このように南北に連なる山地の東側に位置する海岸平野部で冷たい北寄りの風が強化される現象は「Cold-Air Damming（以下、CADと表記する）」と呼ばれ、アメリカ東部のAppalachian山脈東側の他にも同じような地理的特徴を持つ世界の各地域で報告されている（Bailey *et al.* 2003）。ただし、全ての沿岸前線とCADが同時に発生しているわけではなく、これらは別の現象である（CADについては稿を改めて解説する）。

メソスケールの環境場における沿岸前線の形成要因としては、CAD、降水粒子の昇華・蒸発・融解による非断熱冷却、海岸での地表面粗度差に起因する地表面摩擦による強制力の違いが考えられている。また、陸上の地上気温の日変化による海岸付近での局地循環の強制力も沿岸前線形成に寄与している。沿岸前線は雨と固体降水の境目になる場合があり（Bosart 1975；山本 1984）、前線の寒気側での降水量の増大に寄与する傾向がある。沿岸前線北側における降水粒子の相変化に伴う下層乾燥空気非断熱冷却（富山 2001）や、地表面からの顕熱輸送によって大気下層の水平温度勾配が大きくなることで沿岸前線は強化される。気象庁予報部（2014）は、沿岸前線の関係する2013年台風第26号の接近に伴う伊豆大島での記録的な大雨事例や、2014年2月の大雪の事例について、現業数値予報モデルの結果から前線北側の気温低下の要因について物理過程毎に調査をし、降水粒子の相変化に伴う大気下層の冷却が沿岸前線の維持や降水の増大に関係していると報告している。このように、国内での沿岸前線研究は専ら降水粒子の相変化に伴う非断熱効果や大雨・大雪への影響に焦点を絞って事例解析的に取り組まれており、メソスケールの発生環境場はFujiibe（1990）も踏まえてわかってきたものの、総観スケールの環境場との関わり等はよくわかっていない。

一方、アメリカ東海岸での沿岸前線研究は日本よりも進んでいる。Appel *et al.*（2005）は、地上気象観測網とNCEP-NCAR再解析値を用いて、1984～1994年にNorth Carolinaで発生した沿岸前線を陸上型・海上型・日変化型（18 UTC；現地時間で

13時頃に現れなかった海上型）に分類し、その特徴を統計的に調べた。その結果、陸上型はほぼすべてが寒候期に発生し、約6割がCADを伴っていた。海上型の約8割は寒候期に発生し、そのうち約4割がCADを伴っていた。暖候期に発生した海上型は約半分がCADを伴っていた。一方、日変化型は寒候期・暖候期とも同じくらいの数が発生し、7割以上がCADを伴っていなかった。いずれの型でもCarolinaの北に中心を持って東進する高気圧が存在していたが、陸上型では南西に低気圧が発生し、大気下層で南寄りの湿った暖気を伴う地衡風が吹いていた。一方、陸上型と海上型ではCarolinaは500 hPaのトラフの東側に位置し、250 hPaでのジェットストリーク（寒帯前線ジェットに対応するものと思われる）がCarolinaの北側で顕著だった。500 hPaのトラフ東側は総観スケールの上昇流場で、250 hPaのジェットストリークの入り口（entrance）に伴う非地衡風の鉛直循環の上昇流とともにCarolina北西側での地上気圧低下を支持する。こうしてCarolinaを覆う高気圧は東進する一方、南西側の低気圧は北東進し、Carolinaでは高気圧からの北寄りの風と南寄りの暖気移流が下層で収束し、沿岸前線が形成・強化される環境場となっていた。また、海上型は陸上型に比べて上空のジェットやトラフによる力学効果が弱く、高気圧の移動速度も遅いという特徴がある。日変化型はこのような力学効果は小さく、陸上型や海上型よりも高気圧の中心が南（Carolina付近）に位置する状況で、内陸が乾燥して暖気移流のほとんどない環境で発生していた。

Appel *et al.*（2005）は深く言及してはいないが、Carolinaでの陸上型の沿岸前線発生時の上空の環境場には、250 hPaでcoupled jet structure（亜熱帯ジェットストリークの出口と寒帯前線ジェットストリークの入り口が南北に位置する構造）が認められる（Appel *et al.* 2005のFig. 16a-c）。このような総観スケールの環境場は、Appalachian山脈東側で発生するCADとほぼ同じ（Bailey *et al.* 2003）で、いずれも北に高気圧、南西に低気圧があり、ジェットの力学効果も影響していると考えられる。Uccellini and Kocin（1987）は冬季にアメリカ東海岸で顕著な大雪が発生した事例を扱っており、ジェットの力学効果がCADや沿岸前線の形成に寄与し、大雪発生環境場を作ったと結論付けている。一方、アメリカ東海岸でTropical Storm Marco（1990）接近時に発生した顕著な大雨についても、CADと沿岸前線の形成が重要

な役割を果たしていたことが報告されている (Srock and Bosart 2009)。アメリカでは冬季の沿岸前線や CAD, それに伴う降水について総観・メソスケールの環境場を含めて理解が整理されてきているが (Maglaras *et al.* 1995; Gurka *et al.* 1995), 日本国内の沿岸前線や関連する諸現象の総合的な理解はこれからの課題である。

参 考 文 献

- American Meteorological Society: Glossary of Meteorology, http://glossary.ametsoc.org/wiki/Coastal_front, (2015.4.1 閲覧).
- 青木 孝, 1976: 海岸前線 (coastal front) について. 東管技術ニュース, **44**, 30-36.
- Appel, K. W., A. J. Riordan and T. A. Holley, 2005: An objective climatology of Carolina coastal fronts. *Wea. Forecasting*, **20**, 439-455.
- Bailey, C. M., G. Hartfield, G. M. Lackmann, K. Keeter and S. Sharp, 2003: An objective climatology, classification scheme, and assessment of sensible weather impacts for Appalachian cold-air damming. *Wea. Forecasting*, **18**, 641-661.
- Bosart, L. F., 1975: New England coastal frontogenesis. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **101**, 957-978.
- Bosart, L. F., C. J. Vaudo and J. H. Helsdon Jr., 1972: Coastal frontogenesis. *J. Appl. Meteor.*, **11**, 1236-1258.
- Fujibe, F., 1990: Climatology of the coastal front in the Kanto Plain. *Pap. Meteor. Geophys.*, **41**, 105-128.
- Gurka, J. J., E. P. Auciello, A. F. Gigi, J. S. Waldstreicher, K. K. Keeter, S. Businger and L. G. Lee, 1995: Winter weather forecasting throughout the eastern United States. Part II: An operational perspective of cyclogenesis. *Wea. Forecasting*, **10**, 21-41.
- 気象庁予報部, 2014: 平成26年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 118-144.
- Maglaras, G. J., J. S. Waldstreicher, P. J. Kocin, A. F. Gigi and R. A. Marine, 1995: Winter weather forecasting throughout the eastern United States. Part I: An overview. *Wea. Forecasting*, **10**, 5-20.
- Markowski, P. and Y. Richardson, 2010: *Mesoscale Meteorology in Midlatitudes*, John Wiley & Sons Ltd, 153-154.
- Srock, A. F. and L. F. Bosart, 2009: Heavy precipitation associated with southern Appalachian cold-air damming and Carolina coastal frontogenesis in advance of weak landfalling Tropical Storm Marco (1990). *Mon. Wea. Rev.*, **137**, 2448-2470.
- 富山芳幸, 2001: 関東地方の降雪にかかわる気温急降下—1999年2月11日の事例解析—. *天気*, **48**, 811-822.
- Uccellini, L. W. and P. J. Kocin, 1987: The interaction of jet streak circulations during heavy snow events along the east coast of the United States. *Wea. Forecasting*, **2**, 289-308.
- 山本 晃, 1984: 関東平野の雪—雨と雪の境目—. *研究時報*, **36**, 131-149.