Kobe University Repository : Kernel

PDF issue: 2026-08-11

Observational Study on Multiscale Structures of Line-Shaped Precipitation Bands

東, 邦昭

(Degree)
博士（理学）

(Date of Degree)
2009-03-25

(Date of Publication)
2009-10-15

(Resource Type)
doctoral thesis

(Report Number)
甲4521

(URL)
https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1004521

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。

氏　　名	東　邦昭
博士の専攻分野の名称	博士（理学）
学　位　記　番　号	博い第 4521 号
学位授与の　要　件	学位規則第 5 条第 1 項該当
学位授与の　日　付	平成 21 年 3 月 25 日

【 学位論文題目 】

Observational Study on Multiscale Structures of Line-Shaped Precipitation Bands　（線状降水帯のマルチスケール構造に関する観測的研究）

審　査　委　員

主　査	教　授	山中　大学
	教　授	林　　祥介
	教　授	向井　正
	准教授	荻野　慎也

大阪湾周辺では幅約 20 km，長さ約 100 km，寿命が数時間程度の線状の対流性降水雲（線状降水帯）が形成し，特にスケールが 1000 kmのオーダーの寒冷前線が大阪湾を通過するときに形成されることが気象庁天気図，気象レーダー観測から知られてきた．このような線状降水帯の形成については，温帯低気圧や熱帯低気圧のようなより大きいスケールの中の階層構造の 1 つとして形成されることが知られている．しかし，さらに小さいスケールについても階層構造が存在していることが指摘されながらも，地形の影響や総観場の影響が複雑にからみ合い，線状降水帯を含むマルチスケール構造の解明については，山岳などの地形的強制が明らかに支配している場合についてはいくつか研究がなされているが，その複雑さゆえにほとんど行われていなかった．

本論文は，周囲に大小様々な地形によって取り囲まれている近畿地方の大阪湾近傍において，申請者自身によって観測された対流圏の風，湿度，気温，気象庁による気象レーダー，メソ客観解析，アメダス，ウィンドプロファイラなどのデータおよび数値モデル（MM5）を用いて各スケールの詳細を明らかにし，線状降水帯のマルチスケール構造に関して考察を加えたもので，全 6 章から成る．

第 1 章は序論であり，本研究に直接関連する過去の研究を概観し，その問題点を指摘している．中緯度では，傾圧不安定により温帯低気圧が発生し，その中により小さなスケールの擾乱が含まれる階層構造をしていることが知られていたが，さらに小さいスケールの構造については，それぞれの事例ごとに地形の影響など明らかにされつつあるが，まだ多くの未解明がある．本研究では，(1) 線状降水帯の形成に対するメソ α スケールの風，気圧の気候学的解析，(2) メソ β スケール低気圧と降水帯の関係，(3) メソ γ スケールの地形の影響に対して観測的結果から導かれるマルチスケール構造を明らかにすることを目的としている．

第 2 章では，解析対象としている大阪湾周辺の地形，使用した観測データと数値モデルについて述べている（内容は投稿論文の第 2 章で *J. Meteor. Soc. Japan* に 近日投稿予定）．大阪湾周辺は大小様々な山地に囲まれており，北方に西南西から東北東の走向をもった六甲山地（最大標高，海抜 931m），西方には南西から北東方向の走向をもつ淡路島（最大標高，海抜 608m），南方にほぼ東西方向にのびる和泉山脈（最大標高，海抜 858m），南東方には紀伊山地（最大標高，海抜 1915m）の複数の山岳域が存在している．観測データは主に気象庁提供のレーダーデータ，客観解析データを使用しているが，著者自らが神戸大学で行ったレーウィンゾンデ観測データも用いている．数値モデルは米国ペンシルバニア州立大学とペンシルバニア大と NCAR (National Center for Atmospheric Research) で開発された MM5 を使用した．

第 3 章では，1999 年の 1 年間ににわたる地上天気図の解析，気象庁レーダー観測データ，レーウィンゾンデ観測などの観測値に基づき，1 年間の寒冷前線の通過数，対流圏下層の風向風速場，および 3 時間に 100mm 以上の降水をもたらす線状降水帯の形成状況が気候学的に記述されている（主要部は京都産業大学論集に公表，印刷済み）．1 年間に 寒冷前線の通過は 22 例認められるが線状降水帯の形成は 2 例のみで，寒冷前線が通過する際にいつも形成されるわけではなく，その内のごく一部に限られていた．925hPa 面における風向風速場は，南から南西風が $20ms^{-1}$ を上回る日が 22 例中 7 例で，5 例が梅雨期近傍で見られた．この 7 例のうち対流有効位置エネルギーが $1000Jkg^{-1}$ を上回る事例が 3 例あり，この 3 例の内 2 例で顕著な線状降水帯が形成された．従って，線状降水帯の形成には，対流圏下層（925hPa）で強い南～南西風が必要であること，また，大気の安定度が著しく低い場が必要であることがわかった．さらに，1998 年 3 月 31 日 1500JST～2008 年 3 月 31 日 1400JST の近畿地方における気象庁アメダスデータの観測値に基づき，紀伊水道における卓越風向（16 方位）によって分類された降水分布の特性について記述されている．各風向の内，南風が卓越するときに大阪湾周辺から北東方向にむかって降水のピークが見られるが，他の風向ではそのようなことは見られなかった．南風の時に見られる降水特性は風速が $20ms^{-1}$ を上回るとさらに顕著に現れていた．これらの結果はこれまで多数行われてきた個々の事例解析で指摘されていた紀伊水道における南風の必要性を裏付ける結果となった。

第 4 章では，線状降水帯について，メソ α スケールの構造やメソ β スケールの構造について，背景風の強さ，メソ β スケール低気圧の形成と大阪湾周辺の風向風速場について，詳細に記述されている（内容は投稿論文の第 3 章で *J. Meteor. Soc. Japan* に近日投稿予定）．これまでに既に報告されたのと同様に，大阪湾に向かって対流圏下層の南寄りの風が強い日に線状降水帯が形成されることは明瞭であった．新しい知見として線状降水帯が形成される時に，四国東部にメソ β スケール低気圧が形成されることがわかった．また強い南寄りの風はこの低気圧の東側で卓越していることが観測データの解析から明らかになった．

第 5 章では，以上で観測的に見出されたメソ α スケール，メソ β スケールの構造を基に，数値シミュレーションを行い，メソ γ スケールの構造について考察を展開している（内容は投稿論文の第 4 章で *J. Meteor. Soc. Japan* に投稿中）．日本海を東進するメソ α スケール低気圧から寒冷前線が延び，そしてその通過の直前にメソ β スケール低気圧がメソ α スケールの暖域である四国東部で形成される．900hPa 以下の暖域の南西風はメソ β スケール低気圧の東側で強く（$15\ m\ s^{-1}$），それは寒冷前線の西側（寒気側）の西風と収束する．時計回りの鉛直シアはこの南西風と 700hPa の梅雨ジェット（$20\text{-}30\ m\ s^{-1}$）によって生みだされている．南西風は暖湿空気を大阪湾へ輸送し，そこで条件付不安定を増大させる（950hPa 面の相当温位 > 345 K，600hPa 面の相当温位 < 335 K）．さらにこのような環境の下でメソ γ スケー

ルの風下波が寒冷前線西側の西風と周囲の山（淡路島もしくは六甲山）によって形成され，それはメソγスケールの線状降水帯の位置を決めているものと考えられる．

第 6 章は結論であり，本研究で得られた成果を集約している．今後の課題として，本研究の対象地域内の特別観測，特にメソγスケール風下山岳波の観測が必要であることを指摘している．

（別紙１）　　論文審査の結果の要旨

氏名	東　　邦　昭		
論文題目	**Observational Study on Multiscale Structures of Line-Shaped Precipitation Bands** （線状降水帯のマルチスケール構造に関する観測的研究）		
審査委員	区　分	職　名	氏　　名
	主　査	教　　授	山　中　　大　学
	副　査	教　　授	向　井　　正＊
	副　査	教　　授	林　　祥　介
	副　査	准　教　授	荻　野　　慎　也

要　　旨

概要

雲は，生じる際の潜熱放出や生じた後の日射の反射や赤外線の吸収などを通じて，気候決定に本質的に関与している．しかしその成因については，特に対流雲は対流で規定される縦横数 km 程度と極めて小規模でありながら，より大きな構造に組織化される点になお多くの未解明がある．そのため，組織化した対流雲から降る強い降水の予測は，防災上極めて重要であるにも拘らず，まだ困難である．そのような未解明の組織化の一形態として，対流雲が線状に連なり局地的に豪雨をもたらす線状降水帯と呼ばれるものがある．

本論文は，大小様々な地形に取り囲まれている大阪湾周辺地域において，気象庁に加え神戸大学・京都大学での申請者自身によるものを含む各種観測データを用いて線状降水帯出現の実態を調べ，3 つの特徴的スケールごとの出現条件を明らかにしたもので，全 6 章から成る．

第 1 章は序論であり，関連する過去の研究を概観し，その問題点を指摘している．線状降水帯としては，過去に米国中西部の平原上や，九州地方の小島や半島の風下に発生するものが多く研究され，また不安定論・強制問題の両面での成因論も提案されてきた．しかし大阪湾周辺では，これまで気象官署の報告等で，寒冷前線通過時などに幅約 20 km，長さ約 100 km，寿命数時間程度の線状降水帯形成が知られてきたが，地形の複雑さなどから決定的な観測的研究は欠如していた．そこで本研究では，(1)線状降水帯発生頻度に関するメソα（水平約千 km）スケールの気候学的解析，(2)線状降水帯が発生したケースに関するメソβ（約百 km）スケールの気圧・風の場の解析，(3)メソγ（約十 km）スケールの地形の影響に関しての数値モデルも援用した考察を行うことを目的としている．

第 2 章では，解析対象としている大阪湾周辺の地形，使用した気象庁データ，観測，および数値モデルについて述べている（内容は各雑誌投稿論文に公表）．大阪湾周辺は大小様々な山地に囲まれており，北方に西南西から東北東の走向をもった六甲山地（最大標高，海抜 931m），西方には南西から北東方向の走向をもつ淡路島（最大標高，海抜 608m），南方にほぼ東西方向にのびる和泉山脈（最大標高，海抜 858m），南東方には紀伊山地（最大標高，海抜 1915m）の複数の山岳域が存在している．気象庁の天気図，メソ客観解析，レーウィンゾンデ，ウィンドプロファイラ，レーダー，アメダスなどから対流圏の風，湿度，気温，降水量などを求め，これに加えて著者自らが神戸大学自然科学研究科屋上や京都大学信楽 MU 観測所でレーウィンゾンデ特別観測も行った．また観測データを補完するため，米国のペンシルバニア州立大学と国立大気研究センター(NCAR)で開発された汎用メソスケール数値モデル(MM5)をも使用した．

氏名	東　　邦昭

第 3 章では，過去に指摘された線状降水帯形成の必要条件としての寒冷前線の通過数，対流圏下層の風速場，および 3 時間降水量 100mm 以上の線状降水帯の形成頻度などの季節依存性が，1998～2007 年の 10 年間の気象庁観測データ解析に基いて記述されている．例えば 1999 年の 1 年間（京都産業大学論集に 2008 年 3 月に印刷公表済）では寒冷前線の通過は 22 例あり，うち 7 例で 925hPa 高度の南寄りの風が 20m/s を上回り，その中で対流有効位置エネルギーが 1000J/kg を上回るのが 5 月末～7 月上旬の 3 例で，この 3 例のうち梅雨期後半（6 月末～7 月上旬）にあたる 2 例のみで顕著な線状降水帯が形成された．従って線状降水帯の形成には，対流圏下層の強い南寄りの風および大気安定度が著しく低い場が必要であることがわかった．最近 5 年間（2003～7）にも寒冷前線通過は梅雨期（7 月）に最も多く（99 例中 15 例），そのうち 2 例だけが大阪湾周辺で線状降水帯を形成した．

第 4 章では，前章の結果に基いて抽出された 1998 年 10 月および 2003 年 5 月のケースに関する予備的な解析結果が紹介され（主内容は京都産業大学論集に 2004 年に印刷公表済），続いて 2006 年 7 月 2 日および 5 日の 2 ケースについて線状降水帯出現時の大阪湾周辺のメソ α および β スケールの風や気圧の場が詳しく解析されている（*J. Meteor. Soc. Japan* 誌に投稿中）．日本海のメソ α スケール低気圧から延びる寒冷前線の通過前（メソ α 低気圧の暖域）に，大阪湾周辺の対流圏下層では強い南寄りの風が吹いていたことが確認され，通過後（前線西側つまり寒気側）には西寄りの風が卓越していて，これらの収束する前線のすぐ東（暖域）側に線状降水帯が形成されていた．新しい知見として，強い南寄りの風は，四国東部の徳島付近に発生すメソ β スケール小低気圧（「徳島小低気圧」と命名）の東側で生じていたことがわかり，そのようなケースの一部で線状降水帯が形成されたことが明らかになった．

第 5 章では，以上で観測的に見出されたメソ α および β スケールの構造を数値モデルで再現し，その結果を用いて観測不可能なメソ γ スケールまで含めて考察している（前出の *J. Meteor. Soc. Japan* 投稿論文に記載）．下層（900hPa 高度以下）のメソ α スケール低気圧の暖域の南西風は，南方洋上から四国南岸へ吹き寄せるが，フルード数が 1 に近いため四国山脈東端を迂回して風下側に徳島小低気圧を作る．徳島小低気圧の東側では南西風がさらに強まり（~15 m/s），メソ α スケール寒冷前線の西側（寒気側）下層の西風と収束するとともに，上方（700hPa 高度）の梅雨ジェット（20～30 m/s）との間に時計回りの鉛直シアを生み出している．この強い南西風は暖く湿った空気を大阪湾周辺域へ輸送し，そこで条件付不安定を増大させる（950hPa 面の相当温位 $>$ 345 K，600hPa 面の相当温位 $<$ 335 K）．これらの条件が全て満たされたときに，さらに寒冷前線西側の西風が大阪湾周辺の山（淡路島，六甲山，さらにその北東の諸山地）を越えると，風下側の大阪湾および周辺にメソ γ スケールの山岳波が形成され，この山岳波をトリガーとして線状降水帯が生じるものと考えられる．

第 6 章は結論であり，本研究で得られた成果を集約している．今後の課題として，本研究の対象地域内の特別観測，特にメソ γ スケール山岳波の観測が必要であることなどを指摘している．

以上をまとめると，本研究は，これまで寒冷前線の通過というかなり緩い必要条件しか指摘されていなかった大阪湾周辺の線状降水帯の成因について，四国東部の小低気圧および淡路・六甲などの風下側の山岳波という新たな必要条件を見出し，メソ気象学に関する新しくかつ重要な知見を得たものとして価値ある集積であると認める．

よって，学位申請者の 東 邦昭 は，博士（理学）の学位を得る資格があると認める．