秋季晴天静穏日の神戸市東部における局地風系の日変化

瀧 本 家 康*

キーワード 神戸, 局地風系, 日変化, 晴天静穏日

I. はじめに

大阪湾と六甲山地に挟まれた神戸市街地においては、晴天静穏日には海陸風や山谷風のような局地風系が発達する。

神戸市街地における局地風系については、海陸風の卓越風向や日変化、六甲山地からの山風（冷気流）の気温への影響に関する知見が得られている。海陸風の卓越風向はそれぞれ南西寄り、北～北西寄りあるいは北東～東寄りを示し（瀧本, 2014）、風向の日変化は、年間を通して右回転成分が顕著である（溝本・石原, 2009）。

六甲山地からの山風は、夏季夜間に谷から市街地に吹き出す頻度が高く（竹林ほか, 1998）、冷気流の気温低減効果として15～16時以降に4～5℃程度の気温の急激な低下が生じることがわかっている（瀧本・重田, 2017; 瀧本, 2017）。

以上のことから、神戸市街地における局地風系の特徴やその気温への影響については、ある程度の知見が得られている。しかし、これまでの研究では、市街地を挟む山地と海上（湾上）までを含めた風系を一括して解析した事例は見当たらない。本地域は山地、市街地、海が非常に近接しており、局地風系の実態解明には個々の領域に関する解析だけでは不十分であると言える。

そこで、本研究では六甲山山頂の観測点を含む

神戸市環境局所管の常時監視測定局（以下、常時局）およびアメダスとともに、六甲山地中腹に設けた独自の観測点のデータを用いることで、山地から海上に至る風の様態を一括して解析が可能な神戸市東部を対象とし、晴天静穏日の事例解析を行うことで局地風系の日変化の詳細を明らかにすることを目的とする。

II. 方 法

1. 使用したデータ

六甲山地から神戸市街地、そして大阪湾上に至る局地風系の変化を捉えるために、常時局の東灘（第1図中En）、六甲アイランド（Ri）、灘（Na）、灘浜（Nh）、六甲山頂（Ro）の風向風速データを使用した。なお、測定は超音波式風向風速計により行われており、0.1 m/s から 0.1 m/s きざみで記録されている。また、風向は風速が 0.2 m/s 以下の場合には CALM、0.3 m/s 以上を 16 方位で記録している。測定間隔は 1 時間である。また、アメダス神戸（AK）およびアメダス神戸空港（AKA）の風および気温データを使用した。なお、アメダス神戸については、風と気温の観測地点が異なっている（それぞれ第1図中 AKw, AKt）。

また、六甲山地中腹の風や気温の変化を捉えるために 2017 年 9 月から六甲山地中腹に立地する神戸大学附属中等教育学校（神戸市東灘区住吉山

*宇都宮大学教育学部 〒321-8505 栃木県宇都宮市峰町350

第1図 神戸市の地形および観測点の位置
等高線の間隔は50m。

手5-11-1, 標高158m, 以下KS) に気象観測ステーション(風向風速センサー S-WCF-M003, 気温センサー S-TMB-M002)を設置した。測定間隔は1分である。本研究においては, 山地斜面上の局地風系の変化をより明確にとらえるために, 六甲山地の斜面が臨める建物屋上(地上約15m)に観測点を設置することとした。

2. 解析対象日の抽出

海陸風や山谷風などの局地風系は, 一般的に春から秋にかけての暖候期に発達する(吉野ほか1973など)。そして瀧本・重田(2017)は, 秋季晴天静穏日の局地風系と気温変化を調査し, 一定の知見を得ているが, 風についての時間解像度の低さを課題としている。

局地風系の日変化においては風向の急激な変化が生じることが多い。そのため, 平均値による解析では必ずしもそのような短時間に生じる不連続的な変化の様態を捉えられない可能性がある。

そこで, 本研究では瀧本・重田(2017)と同様に秋季の3ヶ月間(2017年9~11月)を調査対

象期間に設定し, 晴天静穏日における事例解析を行うことにした。なお, 風向風速センサーが故障した2017年10月24日から11月3日は解析から除外した。

調査対象期間の中から, 土田・吉門(1995), 藤部(1981)および河村(1977)を参考に, 日照時間, 日平均雲量, 850hPa風速を用いて晴天静穏日を抽出した。その結果, 対象期間中の晴天静穏日は13日となり, 観測機器の故障日を除外した8日間(9月25, 26日, 10月8~10日, 11月5, 12, 27日)が抽出された。なお, この8日間はいずれも天気図上で近畿地方が移動性高気圧の勢力下であった。

本稿では, 晴天静穏日の局地風系の日変化をより明瞭に捉えるために, 8日間の中で唯一晴天静穏日が3日間連続した10月8~10日に着目した。そして, 10月11日は静穏日の条件は満たさなかったものの, 晴天日であったため10月9日と10日の2日間を事例解析対象日と設定した。

III. 結果

1. 人工島上の風の日変化

第2図に人工島上の観測点であるアメダス神戸(AK), アメダス神戸空港(AKA), 常時局六甲アイランド(Ri)の風の日変化を示す。この3地点の風の日変化は類似し, 両日とも午前中に風向が北東から東・南・南西へと右回りに変化し, 午後の南西寄りの風は他の風向に比して長時間安定して吹走している(第2図)。

しかし, AKについては10月10日の0時~06時にかけて風向が北寄りで安定している点はこの2地点とは異なる特徴を示している。また, 18時~0時頃の風向に着目すると, 9日にはAKとRiにおいて西寄りの風が安定して吹送しているのに比して10日には風向の変動が大きい。

第2図 人工島における風の日変化
(a) 神戸空港 (AKA), (b) 神戸 (AK),
(c) 六甲アイランド (Ri)

2. 神戸市街地（平野部）の風の日変化

第3図に神戸市街地の常時局東灘(En), 灘(Na), 灘浜(Nh)の風の日変化を示す。

両日ともに風向の日変化は3地点で同様の傾向を示している(第3図)。しかし、9日と10日の日変化のしかたには違いが見られる。9日は風向が右回りの変化を示しているのに対して、10日は0時~06時にかけて比較的安定して吹走している北~北西寄りの風が07時~08時にかけて急激に南寄りに変化する。9日においても0~06時に北寄りの風の吹走が見られるが、東寄りの風と混在している点が特徴的である。

また、風の日変化のしかたには、地点間の差異も見られる。9日には3地点ともに風向が右回りの変化が生じているが、EnとNaにおいては、風

第3図 平野部における風の日変化
(a) 東灘 (En), (b) 灘 (Na), (c) 灘浜 (Nh)

向の日変化が北東寄りから南寄り、そして北西寄りに3段階に風向が右回りに変化している。これらのうち南寄りの風と北西寄りの風は一定時間安定して吹送するのに対して、北東寄りの風にはそのような傾向が見られない(第3a, b図)。

それに対して、Nhの風向の変化のしかたはEnやNaのように段階的ではなく、比較的なめらかに推移している(第3c図)。一方、Nhにのみ見られる特徴として、9日の18時~0時頃には西寄りの風が安定して吹送しているのに対して、10日は変動が大きい点が挙げられる。これらのことから、前項のAK, RiとNhの3地点は風の日変化に類似性があることがわかる。

風速の日変化については、NaとNhでは日に風速が強まる傾向があるが、Enには特徴的な日変化が見られない。

3. 六甲山地中腹と山頂の風の日変化

第4図に六甲山地中腹(KS)の風と気温の日変化、第5図に常時局六甲山頂(Ro)の風の日変化を示す。

六甲山地中腹では、瀧本(2017)でも示されているように夜間を中心に北寄りの山風(冷氣流)が安定して吹走している(第4図)。

気温の日変化については、概ね16時以降に急激な気温の低下が生じ、先行研究と整合的である。一方、両日ともに午前中において07時頃に始まる気温の急上昇が08~09時頃に一度停滞した後、再び上昇する傾向があり、特徴的な日変化を示している。

また、風速の日変化については、瀧本(2017)が示しているように1日を通して1m/s前後で推移している。一方、07時頃の風向の急激な変化に対応して風速が一定時間極めて弱化し、いわゆる「風」(吉野, 1986)のような状態を示す点がKSの特徴である。10月9日には見られないが、10日の16時頃には北寄りへの風向の変化に対応した「風」も見られる。

六甲山山頂(Ro)は、標高881mに位置しており(第1図参照)、Roにおける風は、概ね自由

第4図 六甲山地中腹(KS)の風と気温の日変化

第5図 六甲山頂(Ro)の風の日変化

大気下端の風であるため一般風に近いと考えられる。10月9日と10日は晴天静穏日であるため、両日を通して、Roの風速は概ね4m/s以下となっている(第5図)。風向や風速に顕著な日変化の傾向は見られないが、他の地点で見られた北~東寄り(0~90度)の風は2日間を通して見られない。

IV. 考察

1. 海陸風循環の日変化

前章の結果から、神戸市周辺における晴天静穏日の局地風系の日変化は、人工島上、平野部、山地で差異が見られることが明らかとなった。

神戸市街地においては、局地的な海陸風循環と大阪平野までを含めた広域的な海陸風循環が移り変わっていくことで右回りの風向の変化が生じることがわかっている(日本建築学会, 2000)。これは、はじめ局地的な海風が海岸線に直交して吹き込むが、時間の経過とともに徐々に大阪湾から大阪平野に向かって吹く、より大きなスケールの広域的な海風の影響を受けて西寄りの風になるためである。

しかし、実際には同じ右回りであっても、観測点の位置によって、風向の変化が滑らかに生じる場合と段階的に生じる場合があることが本稿の結果から推察される。

具体的には、AKA、AK、RiやNhでは風向が比較的なめらかに右回りに変化していくのに対し、平野部のEnとNaでは、風向の変化が段階

的に生じている。このような風向変化の違いは、人工島上や海に近い観測点では、周囲の建物や地形の影響を受けにくいいため、スケールの異なる局地的な海陸風循環から広域的な海陸風循環への移行変わりに伴い風向がスムーズに変化するためであると考えられる。

根山（1982）は、神戸海洋気象台のデータから09時から12時の間に風向が東から南に、18時から21時の間に南西から北西に大きく変わることを指摘している。同様の傾向は瀧本（2014）や瀧本（2017）でも示されている。一方、本研究の結果では、午前中の風向の急激な変化は10月9日には平野部、人工島上の両者で同様の傾向が見られるが、10月10日の平野部では、東から南ではなく、07時ころに北から南への風向の急激な変化が生じている。一方、夕方以降の風向の変化は、人工島上では概ね0時以降に生じる傾向があるとともに、平野部では10日のNhを除いて18時以降は風向は一定の傾向が見られ、風向の急激な変化はそれよりも早い15時から18時頃に生じている。

瀧本（2017）や瀧本・重田（2017）などの結果も踏まえると、主として夜間に見られる北寄りの風は、六甲山地からの山風（冷氣流）であると考えられる。また、日本建築学会（2000）が示したように北東～東寄りの風は広域的な陸風であると考えられる。一方、日中の南風は局地的な海風であり、西寄りの風は広域的な海風であると考えられる。

瀧本（2014）や日本建築学会（2000）では、広域的な海風の主風向は概ね南西であることが示されている。しかし、本稿の結果から、平野部のEnやNaにおいては、南西寄りの風の継続的な吹走は見られず、南寄りの局地的海風から北寄りの山風に比較的急激に変化していることがわかる。一方、AKやRi、Nhでは、9日の18時～0時頃

にかけて西風が安定して吹いている。このような差異は観測地点の山地からの相対的な距離の違いと関係していると考えられ、六甲山地に近い地域では、広域的な海風が必ずしも継続的に吹走するとは限らず、局地的な海風から山風に移行する際に一時的に吹走するにとどまる可能性があることが示唆される。

2. 局地的海陸風と広域的な海陸風

平野部では同じ晴天静穏日であっても、0時～06時に北～東間の風向が混在する場合（10月9日）と北寄りで安定する場合（10月10日）があること、そして後者の場合には07～08時頃にかけて風向が急激に南寄りに変化することが明らかとなった。

人工島上では9日の概ね01時以降は安定した北東寄りの風が吹走しており、EnやNaのような北～東間の風向に混在は見られない。それに対して、10日には安定した北東寄りの風の吹走は見られない。また、AKにおいてのみ0～06時にかけて北寄りの風が安定して吹走している。

一方、人工島上のAK、Riと平野部の中でも海に最も近いNhの3地点には、風向の日変化に類似性が見られた。その中でも9日の18時～0時頃に安定した西風が吹送するのに対して、10日の風向は変動が大きいことが特徴的である。

これらのことから、神戸市街地においては、同じ晴天静穏日であっても、広域的な海陸風が吹送する場合とそうでない場合があるといえる。

具体的には、9日は平野部と人工島上で北寄りの山風の影響の有無の違いはあるものの北東寄りの広域的陸風が南寄りの局地的海風に変化し、さらに18時頃から安定した西寄りの広域的な海風に移行している。それに対して、10日は広域的な陸風が吹走せず北寄りの山風から南寄りの局地的海風に不連続に変化するとともに、18時以降にも広域的な海風への移行が見られず風向の変動が大

きい。

これらのことから、広域的海陸風が吹走する場合には、平野部の地点においては、六甲山地からの山風と広域的陸風が混在しながら風系が移行し、明け方以降に安定した広域的陸風が吹走するとともに人工島上や海から近い地点では18時頃から西寄りの広域的海風が吹送することが示唆される。

竹林ほか(2001)は、夏季の六甲山地の冷気流について調査し、冷気流が発達するのは広域的海陸風が弱い条件に限られ、広域的海陸風が強い場合には、冷気流は吹き消されてしまうことを示している。しかし、本研究の結果からは、広域的海陸風が安定して吹走する日であっても、六甲山地に近い地点ほど山風の影響は強く、両者が混在しながら広域的陸風へ移行することや広域的海風よりも山風が卓越する場合があることも明らかになった。その一方で、六甲山地から離れた地点ほど山風の影響を受けにいため、広域的陸風が早い時間から安定して吹走すると考えられる。

東西に約3km程度の距離差があるEnとNaにおける広域的陸風の吹走時間を比較すると、Enは概ね04~10時であるのに対して、Naは06~09時である。このことから、Enの方が広域的陸風に移行する時間が2時間程度早いとともに継続時間も3時間程度長いことがわかる(第3図)。瀧本(2014)は、03時の解析結果として神戸市西部では東寄りの風の頻度が少ないことを示している。

これらのことから、広域的陸風の吹走時間は、その風上側である神戸市街地の東側ほど長く、東西に数kmの差異であっても、大きく吹走時間が異なる可能性があるといえる。

それに対して、広域的海風には観測点の位置と吹送開始時刻や終了時刻に大きな差異は見られない(第2図)。人工島上の3地点を広域的海風の観点から比較すると、最も陸から離れている

AKAはAK、Riと異なり、12時~18時に西寄りの風が吹いた後、18時~0時にかけては南西寄りの風が吹いている点が特徴的である。この一連の西~南西風を広域的海風と考えれば、陸から離れた地点ほど広域的海風の吹送時間が長い傾向があることが推察される。一方、Nhと東西には、それほど離れていないがより六甲山地に近いNaにおいては18時~0時には広域的海風の吹送は見られない。これらのことから、広域的海風の吹送は陸から離れるほど早く開始するが、終了時刻の地点間の差異は小さいとともに、陸上における吹送範囲も市街地の沿岸部に限定されることが示唆される。

3. 広域的海陸風の発生条件

一般的に神戸周辺における広域的海陸風は、大阪平野を含めた阪神地区スケールの東西気温差(気圧差)によって生じると考えられる。本稿では、同じ晴天静穏日であっても広域的海陸風が必ず発生するわけではないことが明らかとなった。そこで、アメダス神戸(AK)とアメダス大阪(AO)の気温および気温差の日変化と広域的海陸風の発生の有無の対応について調査した。

第6図にAKとAOの気温と気温差を示す。ここで、気温差はアメダス大阪(AO)の気温からアメダス神戸(AK)の気温を減じた値と定義した。

これを見ると、9日については、0時~10時頃にかけて大阪の方が気温が低く、特に06時~10時頃にかけてその低温傾向が強まっている。この時間帯は人工島上やEnやNaにおいて安定的に広域的陸風が吹走した時間帯に対応している。一方、9日18時~10日02時頃にかけては大阪の方が1℃程度気温が高く、AK、RiやNhにおいて広域的海風が吹送した時間帯に概ね対応しているとともに、04時頃までは大阪の方が高温傾向を示していることから、広域的陸風が生じにくい状況であったと考えられる。05時~08時頃にかけ

第6図 神戸 (AK) と大阪 (AO) の気温と気温差 (AO-AK) の日変化

て一時的に大阪の方が低温になっているが、その程度は9日に比して小さく、継続時間も短いことから、広域的陸風が安定して吹走するには至らず平野部の3地点やAKでは山風が安定して吹走したと推察される。

これらのことから、神戸市街地における広域的海陸風の発生の有無と阪神間の気温差には概ね対応関係が見られ、夜間や夕方以降に阪神間の気温差がある程度顕著に生じた9日には広域的海陸風が発達したと推察される。

4. 六甲山地の風の日変化

六甲山地中腹においては、市街地平野部とは異なる局地循環の様態を示している (第4図)。平野部において安定した広域的陸風が見られた9日であっても六甲山地中腹では山風が安定して吹走している。

吉野 (1986) は、神戸における陸風の厚さは200~300m程度であることを示している。KSの標高は約160mであるので、広域的陸風の影響を受ける高度である。しかし、KSの東側には尾根が南に伸びていることから (第1図)、東寄りの

広域的陸風の侵入を妨げるため、夜間においては山風が安定して吹走すると考えられる。

また、気温の日変化については、08時頃に一時的な気温上昇の停止が見られる点特徴的である。気温上昇の停止は2~3時間程度継続し、その後再び気温は上昇する。このような気温上昇の停止は平野部のAKでは見られず、気温は15時頃まで継続的に上昇している (第6図)。KSにおける気温上昇の停止が生じる時刻は概ね北寄りの山風が終了する時刻と対応している (第4図)。本調査結果からは、その因果関係までは考察することはできないが、六甲山地中腹における特有の気温日変化を捉えている可能性がある。

V. まとめ

本稿では、神戸市東部における秋季晴天静穏日 (2017年10月9日~10日) の局地風系の日変化について、平野部に加えて山地と海上までを含めて総合的に解析を行った。

その結果、人工島上や平野部における風向の日変化は、局地的海陸風と広域的な海陸風の移り変わりに起因した右回りの風向変化を示すが、観測点や観測日により差異が見られることが明らかとなった。

観測点の差異については、人工島上や海に近い地点では比較的滑らかに風向が推移するのに比して、平野部では段階的に推移することが明らかとなった。また、六甲山地に近い地点ほど、山風 (冷氣流) の影響が強いため広域的な海陸風の影響が及びにくく、山風と広域的陸風が混在しながら風系が推移していく可能性や広域的な海風は必ずしも平野部全体で卓越するわけではないことが示唆された。

そして、広域的な海陸風の発生の有無と阪神間の気温差には対応関係が見られ、ある程度阪神間の気温差が顕著な夕方~夜間において広域的な海陸風が生じていた。また、広域的陸風の継続時間は風

上に当たる東側ほど長い可能性が示唆された。しかし、広域的陸風が吹走しない夜間においては、山風が平野部および人工島上の沿岸に近い地点まで安定して吹走するが、沿岸から離れた人工島上までは及んでいないことが明らかとなった。

本稿は晴天静穏日2日間のみを対象とした事例解析であったが、従来の平均値による解析では得ることができなかった局地的海陸風と広域的な海陸風の移行のしかたやそれらの影響の大きさの観測地点による差異を捉えることができたといえる。

しかし、本稿の調査対象日が秋季(10月)の2日間のみであることと解析に用いたデータが神戸市東部に限定されていることから、東西に長く延びる神戸市の全域にわたる局地的海陸風と広域的な海陸風の移り変わりの実態や広域的な海陸風の発生条件の詳細の解明にまでは至っていない。したがって、今後は広域的陸風の風上に当たる大阪平野北部や神戸市西部のデータも含めた解析を行うこととともに、解析対象日の事例を増やすことが必要である。

謝 辞

本研究は、2017年度科学研究費奨励研究「神戸市六甲山地から吹送する山風冷気流の実態把握と気温低減効果の評価」ならびに下中科学研究助成金「六甲山地縁辺における冷気流のにじみ出し現象の実態調査」の補助を受けて行われたものである。本稿は、2018年日本地理学会春季学術大会(東京学芸大学)、2019年日本地理学会春季学術大会(専修大学)において発表した内容に加筆

修正したものである。

(2019年9月24日 受理)

文 献

- 河村 武(1977): 全国地上風分布図. 気象庁技術報告, **91**.
- 瀧本家康(2014): 兵庫県神戸市における海陸風の統計的解析. 天気, **61**, 507-513.
- 瀧本家康(2017): 神戸市六甲山地中腹における冷気流の気温低減効果. E-journal GEO, **12**, 209-216.
- 瀧本家康・重田祥範(2017): 秋季晴天静穏日における兵庫県神戸市の局地風系と気温変化に関する事例解析. 天気, **64**, 93-101.
- 竹林英樹・森山正和・糸川文崇(2001): 夏季夜間における山麓冷気流の出現頻度と市街地における影響距離. 日本建築学会計画系論文集, **542**, 99-104.
- 竹林英樹・森山正和・村上周三(1998): 観測データによる神戸地域周辺の風系に関する研究. 日本建築学会大会学術講演梗概集, **D-1**, 677-678.
- 土田 誠・吉門 洋(1995): 東京湾岸の冬季の海風. 天気, **42**, 283-292.
- 日本建築学会編(2000): 神戸—冷気流もある斜面都市, 都市環境のクリマアトラス. ぎょうせい.
- 根山芳晴(1982): 瀬戸内の海陸風について. 天気, **29**, 653-668.
- 藤部文昭(1981): 海陸風の季節的特性. 天気, **28**, 367-375.
- 溝本 悟・石原正仁(2009): 回転スペクトルによって調べた大阪湾周辺における左回転する海陸風の地域特性と季節変化. 天気, **56**, 769-774.
- 吉野正敏・工藤剛彦・星野光子(1973): 日本海岸の海陸風について. 地理学評論, **46**, 205-210.
- 吉野正敏(1986): 新版小気候. 地人書館.

Diurnal Variation of the Local wind System in the Eastern Kobe City on Autumn Calm Days

Ieyasu TAKIMOTO*

*School of Education, Utsunomiya University, 350 Mine-machi, Utsunomiya, Tochigi 321-8505, Japan