

# 海陸の熱的コントラストの変化に伴う 石狩川流域における水循環システムの解明

Hydrological Cycles over Ishikari River Basin associated  
with Change of Land-Sea Thermal Contrast

山田 朋人<sup>1</sup>・福島 大輝<sup>2</sup>・宮崎 真<sup>3</sup>・泉 典洋<sup>4</sup>

Tomohito J. YAMADA, Taiki FUKUSHIMA, Shin MIYAZAKI, and Norihiro IZUMI<sup>1</sup>

<sup>1</sup>北海道大学大学院 工学研究院准教授

<sup>2</sup>北海道大学大学院 工学院修士課程

<sup>3</sup>北海道大学大学院 地球環境科学研究所 特任助教

<sup>4</sup>北海道大学大学院 工学研究院教授

## 要 旨

本研究は気象庁観測データ (AMeDAS)、札幌マルチセンサー、海況解析データ、また著者ら独自の観測サイトにおけるデータを用い、夏季 (7, 8月) における石狩～苫小牧間の海陸風循環のメカニズムについて考察を行った。1985～2009年のAMeDASデータを分析した結果、日本海側の海陸風循環は海岸から約13kmに位置する札幌において、太平洋側は海岸から16kmに位置する厚真で見られた。内陸地域では夏場を通じて一日中南風が卓越していた。日本海側地域において、日本海の海面水温の偏差に伴い海風の水平スケールに変化が生じ、札幌の観測サイトでは海陸風のホドグラフ回転方向が逆転した。太平洋側地域においては、海面水温の年間偏差に対する海陸風循環のホドグラフ回転方向に顕著な特徴は見られなかった。

《キーワード：熱バランス；海陸風循環；ホドグラフ；地形；日内変動》

## 1. はじめに

海陸風循環は古くから研究されているの分野の1つである。海陸風循環の理論的研究の先駆けとして Jeffreys (1922) は、海風や陸風は気圧勾配力と摩擦力とがほぼ釣り合う状態で見いだされる大気運動の一形態であると考えた<sup>1)</sup>。Kimura (1975) はヒート及びクールアイランドによって生じる定常的な対流の力学を室内実験及び数値実験を行い、実際のヒートアイランド効果に伴う対流運動の観測結果とを比較し考察を行った<sup>2)</sup>。Nino (1987) は海陸風循環の必要条件として3つの要素（地温の日内変動、熱拡散、静的安定性）について議論を行い、海陸風の水平方向スケールに関してはコリオリ力の影響についても検討を行った<sup>3)</sup>。具体的な対象地域に着目した研究では、伊藤 (1989) は近畿中南部と四国東部の海陸風の特性について分析を行い<sup>4)</sup>、溝本 (2009) は大阪湾周辺の海陸風について検討した<sup>5)</sup>。一方、Sakazaki and Fuziwara (2008) は全国の主要な平野における海陸風の回転方向に着目し、回転方向に与える地表面摩擦力やコリオリ力の影響について議論を行った<sup>6)</sup>。

本研究の対象地域である北海道の石狩～苫小牧間は日本海、石狩～苫小牧、太平洋といった海、陸、海の地域分布を有している。Nino (1987) の海陸風線形理論では同区間を含む北緯43度付近の海陸風の水平距離は約40～50kmとの指摘がなされている<sup>3)</sup>。同区間の陸域は約90kmであることから、日本海および太平洋の両海域による2種類の海陸風循環の影響を受ける可能性が考えられる。

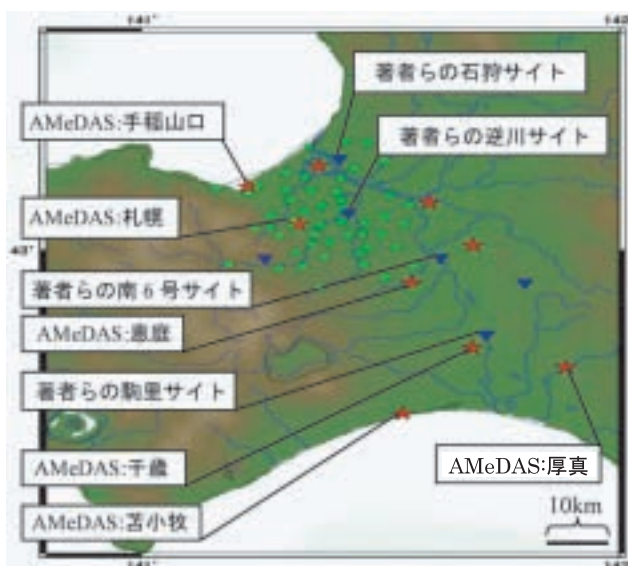
以上より本研究は夏季（7、8月）における石狩～苫小牧間独自の気候特性を海陸風循環の観点から分析を行う。2章において使用するデータの紹介、第3章では石狩～苫小牧間の海陸風循環の気候特性を行う。4章では海面水温の年間偏差と海陸風循環の関係について議論し、まとめを5章に記す。

## 2. データ

### (1) 使用するデータと期間

本研究においては気象庁観測データ (AMeDAS)、札幌市および周辺自治体による札幌マルチセンサー、気象庁海況解析データに加え、著者らの保有する観測サイトにおける水文気象データを使用する。解析に使用した全データの場所を図-1に示す。

- AMeDASデータ1985～2009年7、8月の1時間値
- 札幌マルチセンサー 1992～2007年7、8月の10分値
- 著者ら独自の観測サイト2011年～の10分値
- 気象庁海況解析データ1985～2009年7、8月の1日値



著者らは2010年度終盤から石狩～苫小牧間の6地点において水文気象観測を開始した。それらの観測地点では風向、風速、日射、気温、湿度、気圧、降水量、積雪深に加えて地温、土壌水分も計測している。観測地点は同区間に9地点存在するAMeDAS観測所の間を埋めるように分布している（図-1）。

図-1 石狩～苫小牧間における観測サイト位置

- ：札幌マルチセンサー
- ★：AMeDAS観測サイト
- ▼：著者ら独自の観測サイト

## (2) 解析対象の定義

海陸風循環をとらえやすくするために、全観測地点において雨が全く降らない無降雨日のみを抽出し解析対象期間とする。AMeDASデータについては、過去25年間（1550日間）であり、そのうち685日間が無降雨日であった。札幌マルチセンサーに関しては過去16年間（992日間）であり、そのうち無降雨日の日数（444日間）について解析を行う。著者らの観測サイトにおけるデータは観測期間の関係上、長期間に及ぶものではないが、他のデータと同様に無降雨日を抽出して解析するものとする。

## 3. 石狩－苫小牧間の海陸風循環の特性

### (1) 沿岸地域

まずAMeDASデータと著者らの観測サイトのデータを比較し、石狩～苫小牧間の海陸風循環の特徴を述べる。図-2aより、過去25年間の平均場として日本海沿岸地域の手稲山口サイト（図-1 AMeDAS 手稲山口）において午前11～18時に海風の流入が確認できる。一方、海岸線から13km内陸に位置する札幌サイト（図-1 AMeDAS 札幌）においても14～19時において海風の流入時間が存在することがわかる。このことから時間の経過とともに海風が内陸側に進行していることが示唆される。一方で太平洋沿岸に位置する苫小牧サイト（図-1 AMeDAS 苫小牧）、海岸線から16km内陸に位置する厚真サイト（図-1 AMeDAS 厚真）においても同様に海風の流入時間が明瞭に示されており、海風が時間差を経て苫小牧サイトから内陸側の厚真サイトに流入していることがわかる。しかしながら内陸地域（図-1 AMeDAS 千歳、恵庭）では海陸風が全く見られず一日中南風が卓越している。

図-2bは同様の解析を著者らの観測サイト（図-1 南6号、駒里サイト）のデータに適用したものである。図に示すとおり、内陸地域に位置する両サイトともに一日中南風が卓越している。AMeDASの解析結果と著者らの観測サイト双方の結果より、日本海側では札幌サイトよりも内陸地域、太平洋側では厚真サイトよりも内陸地域にかけては一日中南風が卓越していることがわかった。

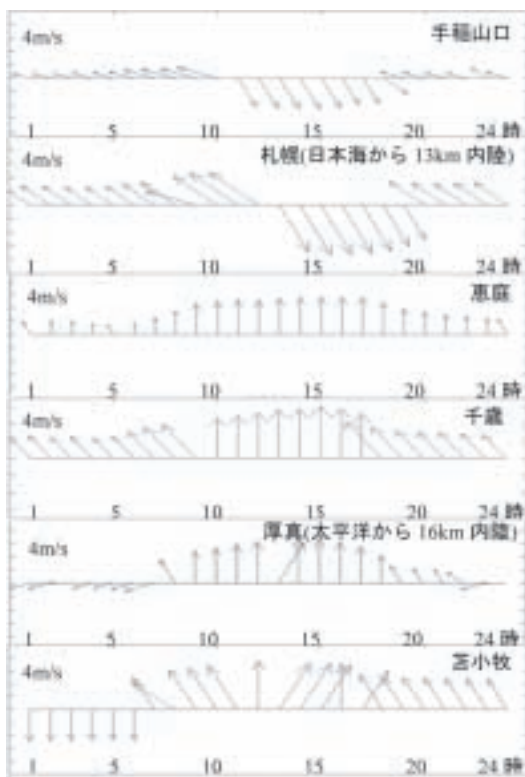


図-2a

AMeDASサイト過去25年間平均風向風速ベクトル  
各サイト上部が北方向とする

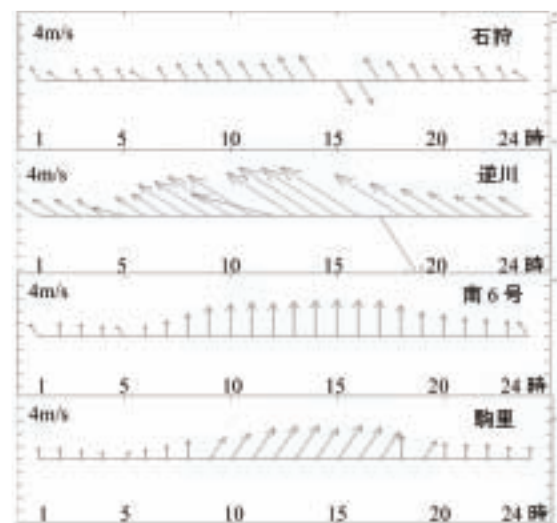


図-2b

著者らの観測サイトにおける  
2011年7、8月平均風向風速ベクトル  
各サイト上部が北方向とする

(2) 内陸地域

AMeDASデータと著者らの観測サイトのデータから内陸地域において南風が一日中卓越していることがわかった。本節では南風をもたらす原因について議論を行う。図-3は対象とする過去25年間の無降雨日における平均気温を時間帯ごとに示す。図の左側ほど日本海沿岸に右側ほど太平洋沿岸に近い。図-2aより苫小牧と厚真サイトは太平洋側の海陸風循環が存在すること示した。図-3において、苫小牧サイト～厚真サイト間では気温が昼夜で逆転（昼間：苫小牧<厚真，夜間：苫小牧>厚真）していることがわかり、これは海陸風循環を維持しやすい条件と言える。

しかし、厚真サイトから札幌サイトにかけては時間帯に関わらず日本海側ほど気温が高いという明瞭な特徴が見られる。この気温傾度に伴う気圧傾度は南風を強化・維持するための必要条件のひとつとして考えられる。また石狩～苫小牧間は太平洋側から札幌付近にかけて低平地が北ほど狭くなるという地形的特徴を有するため、低平地が狭まった内陸地域において南風が強化される可能性も存在する（表-1）。表-1に示す最大風速時刻を見ると、太平洋側から北に行くにつれて最大風速時刻が徐々に遅れることがわかる。これにより太平洋側から流入した海風が厚真付近から気温の地域傾度と平地の狭まりに伴い内陸地域における南風を形成していることが考えられる。

図-4は札幌マルチセンサーデータによる過去21年間の無降雨日における平均最大風速時刻と風向を示す。図より、東側の観測サイトにおいては概ね午後に南風が卓越している。したがって、前節において議論を行った内陸地域の南風は札幌近郊の東側を取り囲むようにして千歳川流域から石狩川、さらには日本海沿岸域にかけて抜けていくことが明瞭にわかる。

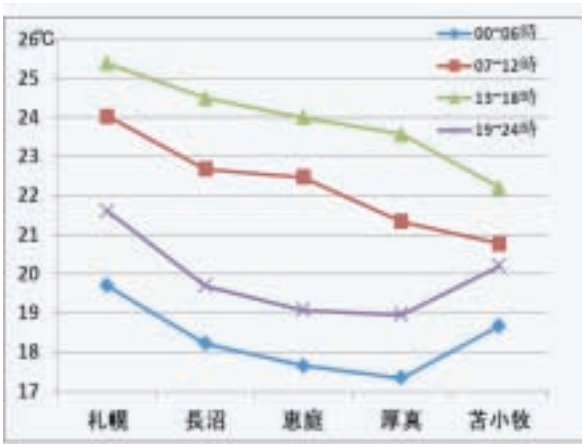


図-3  
AMeDASによる過去25年間の  
時間帯ごとの平均気温

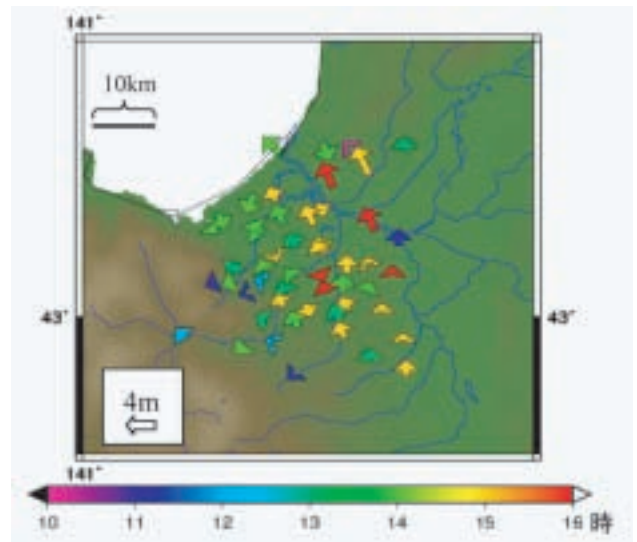


図-4  
札幌マルチセンサーデータ（過去16年:1992～  
2007年）による夏季（7,8月）における平均最大風  
速時刻とその時の風向風速ベクトル

表-1 AMeDAS過去25年間（1985～2009年）夏季における最大風速時刻と太平洋からの距離

観測サイト	最大風速時刻	太平洋からの距離	東西方向低平地の距離
苫小牧	午後1時	0km	30km
厚真	午後2時	16km	20km
千歳	午後3時	20km	10km
恵庭	午後3時	36km	13.6km
南6号	午後3時	40km	14km

#### 4. 周辺海域の海面水温平年偏差と海陸風循環

本章では海陸風循環に影響を及ぼす要因のひとつとして考えられる海面水温の平年偏差に着目し分析を行う。使用した海面水温データは2章において説明した海況解析データであり、対象期間は1985～2009年である。ただし次節において札幌マルチセンサーデータを解析する際には、海況解析データの対象期間は札幌マルチセンサーのデータが存在する同期間の1992～2007年とする。日本海側では石狩湾（北緯43.2～44.1; 東経140.1～141.0）における海面水温について平年値から1℃以上高い年（以降、SST+年とする。ただし8月は1985, 1994, 1999, 2000, 2005年の計5年間とし7月は1990, 1994, 2001年の計3年間、合計8年間を解析対象とする）、1℃以上低い年（以降、SST-年とする。ただし8月は1992, 1993, 1996, 2003年の計4年間とし7月は1986, 1989, 1993, 1996, 2003年の計5年間、合計9年間を解析対象とする）と、平年値（AMeDAS:過去25年間、札幌マルチセンサー：過去16年）の3種類に分類し、分析を行う。

##### (1) 海陸風のホドグラフ回転方向

図-5a, b, cはAMeDAS札幌サイトにおける風速場のホドグラフをSST+年, SST-年, 平年値について示す。同サイトでは平年値として海風の流入時間は13時～19時の7時間であり、海陸風のホドグラフ回転方向は反時計回りである。また手稲山口サイトは平年値として海風の流入時間は11時～18時の8時間である（図-2a）。また海陸風のホドグラフ回転方向は反時計回りであった（図省略）。この2つのサイトの平年値が示す海陸風のホドグラフ回転方向は、Sakazaki and Fujiwara(2008)の示すホドグラフ回転方向と一致するものである。海風の流入時間に関しては海岸沿いに位置する手稲山口サイトが11時で、日本海海岸から13km内陸に位置する札幌サイトで13時となっており、海風が手稲山口サイトから札幌サイトに吹いている。

一方で図-5aより日本海SST+年は、札幌サイトにおける海風の流入時間が13時～19時となり平年の海風流入時間と同等であった。しかしながら、海陸風のホドグラフ回転方向は平年値では反時計回りを示していたが、SST+年では時計回りに変化した。つまり今回の回転方向変化の原因の1つとして、日本海SST+年は、コリオリ力が地表面摩擦力と比べ強く海陸風に影響を与えていることになる。しかしながら、回転方向変化の要因の物理的説明は今後の研究課題の1つである。

手稲山口サイトに関しては日本海SST+年は、海風の流入時間は増加したものの、海陸風のホドグラフ回転方向は反時計回りのままである（図省略）。同じ日本海側地域の札幌サイトと手稲山口サイトを比べても、札幌サイトのみ日本海SST+の場合に関して海陸風のホドグラフ回転方向が変化した。図-5cより札幌サイトでは日本海SST-年は海風の流入時間が14時～17時の4時間となり、平年値、日本海SST+年と比べ短い。また海陸風ホドグラフの回転方向は判別できない。手稲山口サイトにおいて、海風の流入時間が平年値と比較して1時間減少するものの海陸風のホドベクトル回転方向は判別でき反時計回りとなった。つまり手稲山口サイトに関しては日本海SSTの高低に関わらず、海陸風のホドグラフ回転方向は一定である。

石狩サイトにおいては、日本海SST-年, 平年値をとる場合の2ケースは海風が1時間しか吹かないため、海陸風循環そのものの確認が困難である。その理由として、石狩サイトは石狩川の真横に位置しており、内陸地域の南風が千歳川、石狩川に沿って日本海に抜けていくことが考えられる。しかし、日本海SST+年は海風の流入時間が4時間であり、海陸風循環が見られる。この際、海陸風のホドグラフ回転方向は反時計回りとなり、Sakazaki and Fujiwara(2008)が示すものである。

同様の解析を太平洋沿岸地域（苫小牧サイト、厚真サイト）においても行った。平年値に関して海陸風循環が見られ（図-2a）太平洋ホドベクトルの回転方向は時計回り回転である。また太平洋SST+,-の場合分けを行ったが海陸風循環や、ホドグラフの回転方向に顕著な変化は見られなかった。

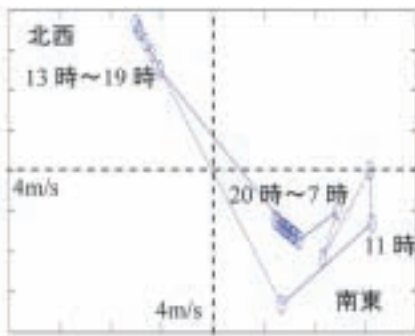


図-5a  
札幌サイトにおける  
平年値ホドベクトル

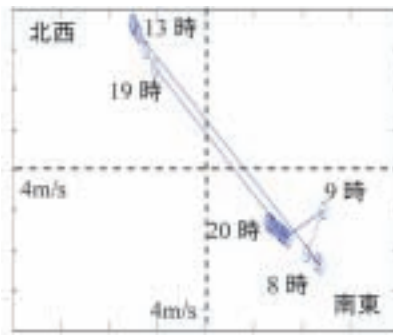


図-5b  
札幌サイトにおける  
日本海SST-年の平均ホドベクトル

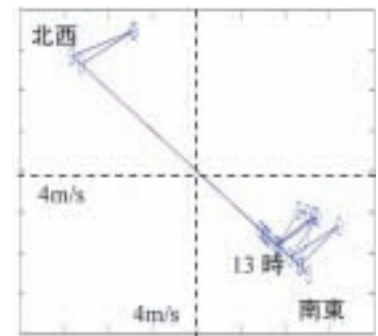


図-5c  
札幌サイトにおける  
日本海SST+年の平均ホドベクトル

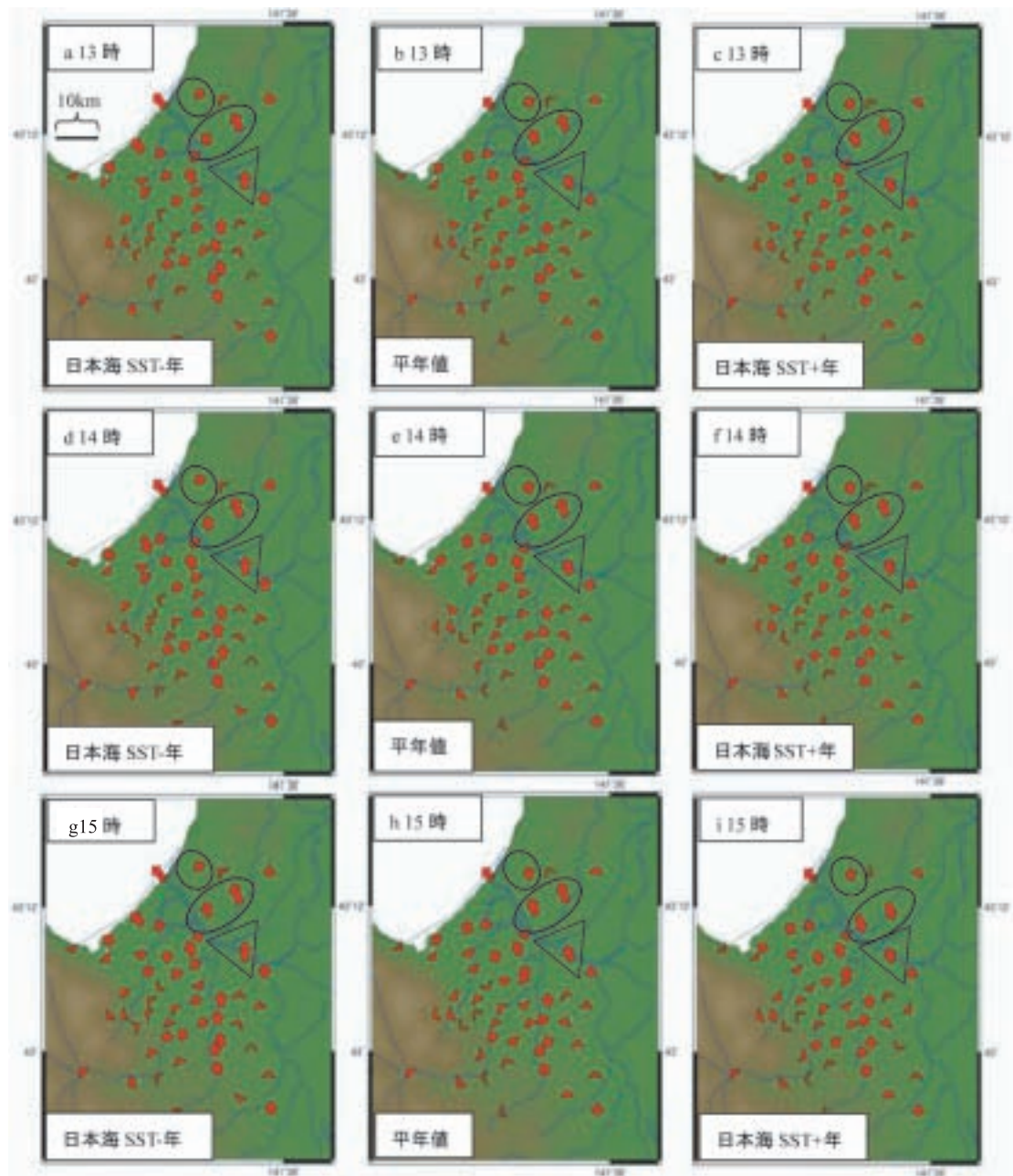


図-6a~i 札幌マルチセンサーによる風向風速ベクトル  
位置黒円, 石狩市高岡黒楕円, 石狩郡当別町黒三角, 江別市工栄町風速←(大きさ, 4m/s)

## (2) 海陸風の水平スケール

図-6a~iは札幌マルチセンサーデータによるSST+年, 平年値, SST-年の風速場を13時~15時について示す. 前節よりも詳細に海陸風の水平スケールの議論を行う. まず平年値を見ると(図-6b, e, f) 13時~15時の間は海陸風が石狩市高岡(日本海沿岸から6km内陸)と石狩郡当別町(日本海沿岸から12km内陸)の間で循環していることがわかる. 一方で, 日本海SST-年(図-6a, d, g)は13時~15時の間石狩市高岡, 石狩郡当別町ともに陸風が卓越し日本海に抜けていくことが確認できる. ここで日本海SSTが平年値と比べ1°C以上高い年の平均(図-6c, f, i)に着目する. 13時~14時の間は石狩市高岡と石狩郡当別町間において海陸と陸風の収束が見られるが, 15時になると石狩郡当別町と江別市工栄町間(日本海沿岸から21km内陸)において海風, 陸風の収束が存在する. これにより日本海SST+年は海風の水平スケールが内陸方向に伸びることが明らかになった. 以上より石狩川の右岸地域において日本海SST変動に伴い海陸風水平スケールが変化し, 海陸風水平スケールは平年値で6~12kmであり, 日本海SST+年で12km~21kmとなるので最大で10kmほど変化することがわかった.

## 5. まとめ

本研究は北海道石狩~苫小牧間の海陸風循環のメカニズムの分析を行ったものである. 平年値の無降雨日においては石狩~苫小牧間において海陸風循環の水平スケールは日本海~札幌(日本海から約13kmに位置), 太平洋~厚真(太平洋から16kmに位置)であった. 内陸地域は一日中南風が卓越しており, その南風は札幌近郊で千歳川, 石狩川の影響を受け日本海に達していた. また日本海側の石狩川下流部右岸では日本海SST+, -によって海陸風の海岸から内陸に対しての水平スケールが長くなる. そしてその時の海陸風水平スケールは約12kmから約21kmに変化する. 一方石狩川左岸側に関しては海陸風のホドグラフ回転方向が日本海SSTにより変化するサイトが見つかった.

それは札幌サイトであり平年値は反時計回りであるが, 日本海SST+の場合反時計回りであった. これはSakazaki and Fujiwara(2008)が示した海陸風のホドグラフの回転方向決定要素であるコリオリ力と地表面摩擦のバランスが, 日本海SST+で変化することを示唆する結果となった. 今後は海陸風の回転方向と海陸熱バランスに関して物理的構造を分析する予定である.

**謝辞:** 文部科学省気候変動適応研究推進プログラムおよび一般財団法人北海道河川財団からご支援を頂いた. 観測サイトの選定・設置場所に関して北海道開発局札幌開発建設部にご協力頂いた. 札幌マルチセンサーデータは札幌市からご提供頂いた.

## 参考文献

- 1) Jeffreys H : On the dynamics of wind.,1922.
- 2) Kimura R: Dynamics of Steady Convections Over Heat and Cool Island,1975.
- 3) Niino H:The linear Theory of Land and Sea Breeze Circulation, J.Meteor.Soc.Japan,65,901-921,1987.
- 4) 伊藤久徳, 野田明: 風の日変化ホドグラフにおける回転方向の季節変化について,1989.
- 5) 溝本悟, 石原正仁: 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,2009.
- 6) Sakazaki T and Fujiwara M : Diurnal Variation in Summertime Surface Wind upon Japanese Plains: Hodograph Rotation and Its Dynamics.J Meteor.Soc.Japan,86,787-803,2008.