

石狩勇払地域の海陸風循環と道央近海の海面温度の年々変動特性

INTERANNUAL VARIABILITY OF LAND-SEA BREEZE IN ISHIKARI-YUHUTU AREA AND SEA SURFACE TEMPERATURE OVER THE ADJACENT OCEAN

北海道大学工学院環境フィールド工学専攻 ○学生会員 福島大輝 (Taiki Fukushima)

北海道大学工学院環境フィールド工学部門 正会員 山田朋人 (Tomohito Yamada)

北海道大学大学院地球環境科学研究院総合環境科学部門 非会員 宮崎真 (Shin Miyazaki)

1.はじめに

海陸風とは晴天日において海岸近くでは日中に海から陸に向かって海風が吹き、夜間には陸から海に向かって陸風が吹く現象を意味する¹⁾。海陸風の発生原因は海面と陸面における日射加熱の違いである。海陸風は水文気象学において古くから研究されており、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²⁾。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の比較、考察を行った³⁾。具体的な対象地域に着目した研究では、Sakazaki and Fuziwar(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⁴⁾。また河野・西塚(2006)らは播磨平野(姫路)に関して海表面温度と海陸風の関係をヒートアイランド現象緩和に結び付け議論した⁵⁾。具体的な地域における海陸風の研究はヒートアイランド現象を緩和させる目的や、その土地の気候区分を認識する上でも重要と言える。

本研究対象地域である北海道石狩札幌地域から勇払地域の地形及び気候学的特徴に着目すると、近年ヒートアイランド現象が発生している札幌市を有し⁶⁾、かつ同地域には石狩川及びその支流の千歳川によって開かれた低平地を広く有するため高い山々が存在せず、気候区分において同地域は日本海側と太平洋側気候を平野で二分する珍しい特徴を有している⁷⁾。例えば夏季においては平年、札幌を中心に気温が高く⁸⁾、勇払地域は霧が発生しやすい特徴が存在する。一方で冬季に関して言えば勇払地域が札幌近郊と比べ低気温にも関わらず、積雪量が少ない。降雨・降雪といった防災的な側面からも日本海側気候、太平洋側気候の境界を考察することは重要である。また同地域において発生する海陸風の流入スケールによって都市部の気温の変化が見られる⁹⁾。Nino(1987)の海陸風線形理論では同地域を含む北緯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⁸⁾こと、かつ同区間の陸域が約90kmであることから日本海および太平洋両海域に起因する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。したがって両海域の海表面温度(Sea Surface Temperature; SST)の変化によって海陸風に変化が生じ気候区分が変化する可能性がある。

そこで本研究の目的は、SSTの年々変動が海陸風循環に与える影響について議論することである。またSSTの年々変動の

みならず、北海道においてエルニーニョ現象発生時、ラニーニャ現象発生時⁷⁾といった地球規模におけるSST変化の現象がどのように石狩勇払地域という地域スケールの海陸風に影響を与えるのかをも議論の対象とする。

以上より本研究は夏季(7、8月)における石狩地域から勇払地域にかけての気候特性を海陸風循環の観点から分析を行う。

2.データ

(1)使用するデータと期間

本研究では気象庁観測データ(AMeDAS)、気象庁メソスケール客観解析データ、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観測データを使用する。著者らは2010年度終盤から、石狩地域から勇払地域の8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。著者らの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。解析に使用したすべての観測地点の場所を図-1に示す。

(2)解析対象の定義

本研究は海陸風循環に着目したものであり、低気圧等の大規模気象擾乱の影響を直接受けない日を対象とする。そのため、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、夏季(7、8月)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。気象庁メソスケール客観解析データにおいては、過去6年間における無効雨日の92日間について解析対象日とした。また気象庁メソスケール客観解析データはMeso scale model(MSM)の予測値と観測値を合わせたものである。著者らの観測サイトにおけるデータに関して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対象とする。なお日本海SSTは石狩湾近辺(北緯43.5度~44.4度;東経140.1度~141.0度)、太平洋SSTは苫小牧近辺(北緯41.1度~42.0度;東経141.0度~141.9度)とし気象庁海況解析データを使用した。そして長期再解析データ(JRA)に関しては月値を使用した。なお表-1に本研究における使用データを記す。

表-1 使用データ名、期間、使用値

使用データ名	使用年度と月	使用値
AMeDAS	1985-2009年7,8月	1時間値
長期再解析(JRA)	1985-2009年7,8月	1か月値
札幌マルチセンサー	1992-2007年7,8月	10分値
気象庁海況解析	1985-2009年7,8月	1日値
著者らの観測サイト	2011~	10分値

3. 気候値としての石狩地域から勇払地域における海陸風

AMeDAS データと著者らの観測サイトのデータを比較し石狩地域から勇払地域にかけての海陸風循環の平均場を考える。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において午前 11 時から午後 6 時に海風の流入が確認できる。一方海岸線から 13 km 内陸に位置する札幌サイトに關しても午後 2 時から午後 7 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、海岸線から 16 km 内陸に位置する厚真サイトにおいても同様に海風の流入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に位置する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のデータに適用したものである。図に示す通り、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 の解析と著者らの観測サイト双方の結果より、太平洋側の厚真サイトより内陸地域から、日本海側の札幌サイトよりも内陸地域において一日中南風が卓越していることがわかる。

4. 海と陸の温度差と海風収束域

第 3 章では石狩地域から勇払地域を沿岸地域と内陸地域における海陸風循環の過去 25 年間の平均値を考察した。その際に各観測サイトのデータのみを扱い海陸風循環の特徴を述べた。本章ではより細かく解析するために札幌マルチセンサーを使用し、海と陸の温度差の違いによって、どのように札幌近郊の海風収束域が変化するかを議論していく。

図-3 より日本海 SST と日本海沿岸地域の温度差は、気候値で約 3.8 度となった。そこで海と陸の温度差が気候値差と比べ大きくなる年、低くなる年を抽出して解析する。すなわち海と陸の温度差が 6 度近くある年(1985、1999、2006 年;高温度差年)と、温度差が 1 度から 2 度あたりで非常に小さい年(1997、1998、2002 年;低温度差年)において海風の空間流入スケールを比較する(図-4)。図-4 より午後 3 時において高温度差年が低温度差年とくらべ内陸に海風が流入することがわかる。

次に高温度差年、低温度差年における気圧偏差を考察する。高温度差年は日本領域の東側に高気圧偏差を持ち、北海道に南風ないしは西風を吹き込みやすい状況を作り出している(図-5)。本研究対象地域においては南風が吹きこんでおり、その南風が陸地の気温を上昇させたと考えられる。一方、低温度差年に関しては、日本領域の北側に高気圧偏差、南側に低気圧偏差をも

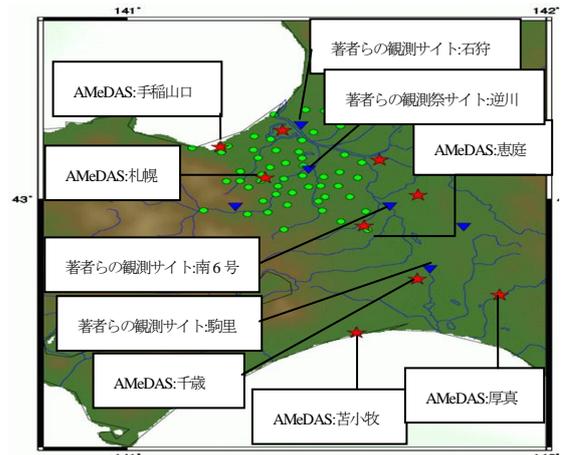


図-1 石狩地域(日本海側)から勇払地域(太平洋側)における観測サイト位置

●札幌マルチセンサー ★AMeDAS 観測サイト ▼著者らの観測サイト

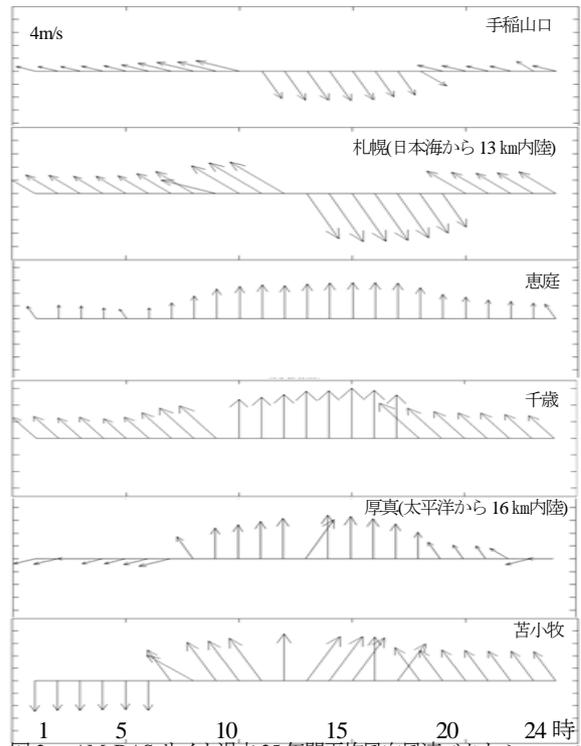


図-2a AMeDAS サイト下過去 25 年間平均風向風速ベクトル。

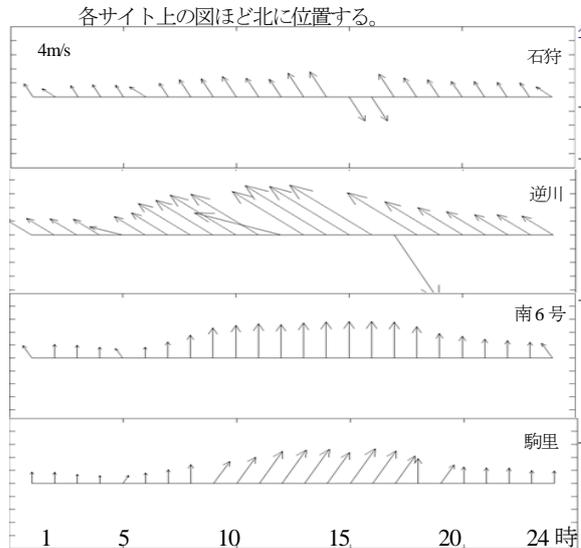


図-2b 著者らの観測サイトにおける 2011 年 7、8 月の平均風向風速ベクトル。

ち、北海道全域で北風が吹きやすい状況となっている。この北風により陸地の気温が下げられ、低気温差年が生まれたと考えられる。

5.大規模気候場からみた海陸風

第4章で SST と陸地の気温との温度差の大小関係で議論した。その結果、SST と陸地の気温との温度差が大きければ海風はより内陸に流入することが分かった。すなわち SST と陸地の気温との温度差が海風の流入スケールに変化を与える重要な要素の一つであることがわかった。

そこで本章においては SST また、陸地の気温に影響を与える大規模場、すなわちラニーニャ年、エルニーニョ年に注目し、地域スケールにどのような影響を与えるか議論する。ただし夏季(7、8月)におけるラニーニャ年は1999、1998、1995年、エルニーニョ年は2002、1997、1992年とする。

まずラニーニャ年、エルニーニョ年による日射強制力を比べるため平均日照時間の差を解析した。平均日照時間の差は最大でも0.7hであり(図6)、また札幌サイトに関しては日積算日照時間(一日の合計日照時間)と海陸風の出現頻度に関係性は低いという指摘もある⁹⁾。ラニーニャ年、エルニーニョ年に関しての平均日照時間差が0.2hと非常に小さいことから、日照時間は海陸風収束域に影響を与えづらいと考える。

次にラニーニャ年、エルニーニョ年夏季(7、8月)における気圧偏差を考察してみる。ラニーニャ年とエルニーニョ年において明瞭な気圧偏差の違いが見られた(図7)。すなわちラニーニャ年は日本領域の南側に高気圧偏差が見られ(図7左図)、それに伴い南風が吹き、陸地の気温を高くする可能性がある。エルニーニョ年に関してはラニーニャ年と逆の気圧偏差になり(図7右図)、北風が吹き陸地の気温を下げていていると考えられる。エルニーニョ年の気圧偏差は低気温差年の気圧偏差と類似しており、日本海沿岸地域において海風が流入しにくいと考えられる。なお時間スケールが異なるので直接比較することはできないが、ラニーニャ年とエルニーニョ年における午後1時から3時における比較するとラニーニャ年が各サイトにおいて気温が高くなっていることがわかる(図省略)。

そこで午後3時の海風流入スケールを見てみるとラニーニャ年における海風は北広島市まで入り込んでいるが、一方でエルニーニョ年の海風は石狩市付近で収束していることが明瞭にわかる(図8)。つまりエルニーニョ年と比べ、ラニーニャ年において海風はより内陸地域に流入することになる。我が国の気候に重要な影響を及ぼす大規模気候場であるラニーニャ年及びエルニーニョ年は SST と陸地の気温に変化をもたらし、札幌をはじめとする日本海付近の石狩流域における海風流入の空間スケールに変化をもたらすと言える。

ラニーニャ年において海風が内陸に流入しやすい要因について考察する。ラニーニャ年における札幌サイトと日本海 SST の温度差は約5度、エルニーニョ年における札幌サイトと日本海 SST の温度差は約3度である(図省略)。ラニーニャ年がエルニーニョ年に比べて陸地の気温と SST との温度差が大きいことが、海風がより内陸に侵入した原因だと考えられる。

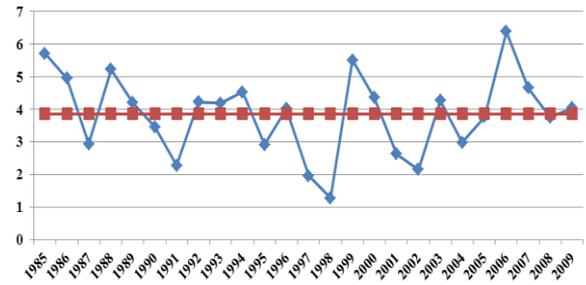


図-3 各年における SST と日本海側地域の気温の温度差(青線)。ただし赤線は過去25年間の気候値

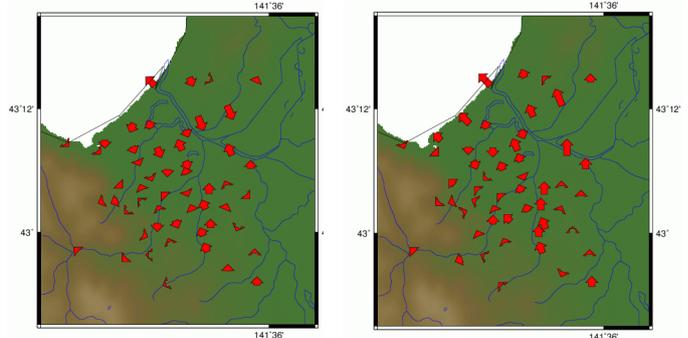


図-4 午後3時における高温度差年(左図)と低温度差年(右図)における平均風向風速場

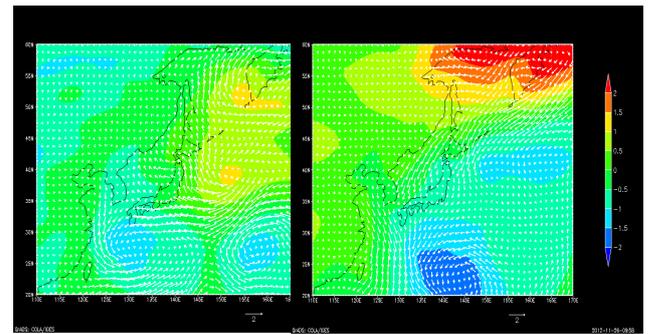


図-5 高温度差年(左図)と低温度差年(右図)における気圧偏差と風向風速偏差

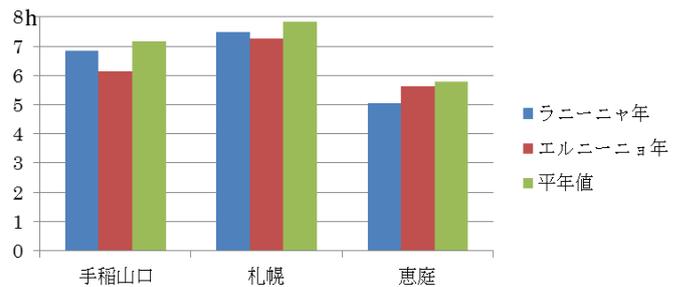


図-6 ラニーニャ年、エルニーニョ年、気候値における平均日照時間

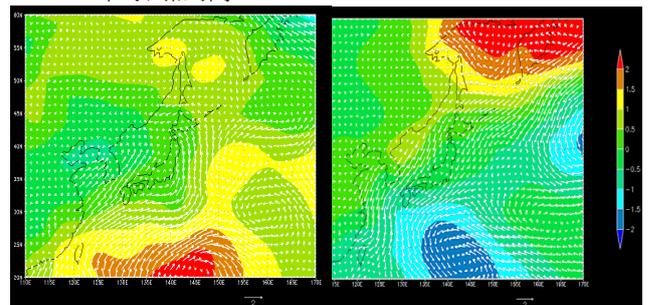


図-7 ラニーニャ年(左図)エルニーニョ年における気圧偏差と風向風速偏差

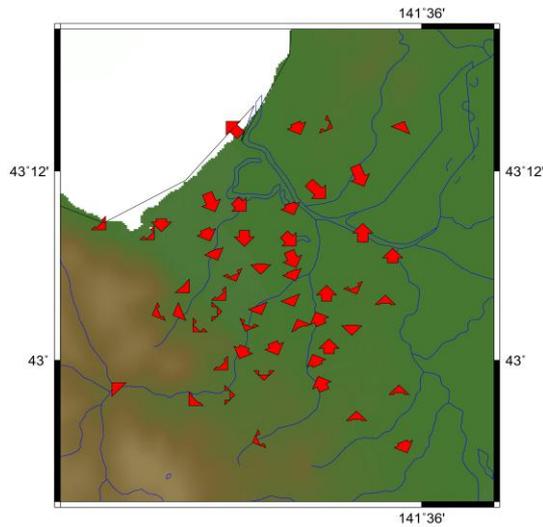


図-8a ラニーニャ年における午後3時の平均風向風速

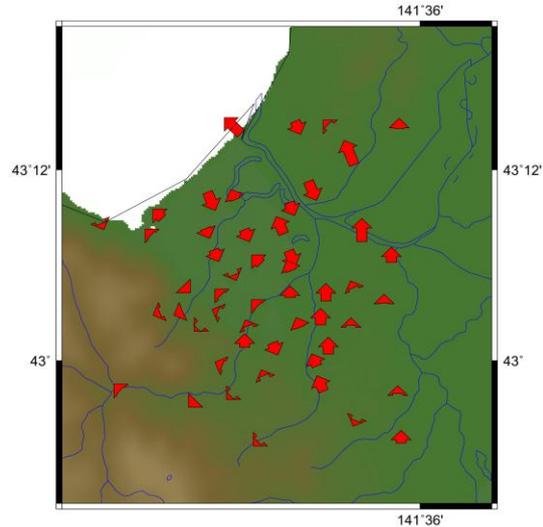


図-8b エルニーニョ年における午後3時の平均風向風速

6. まとめ

本研究は北海道石狩地域から勇払地域の高陸風循環のメカニズムの分析を行ったものである。同地域は高い山々が存在せず陸域が約 90 kmであり、かつ日本海および太平洋両海域に面していることから、海陸風循環の考察において SST の変動が重要と考へて、既存の高陸風循環の研究においてあまり触れられてない SST を考へて議論をした。

まず SST を考へる前に高陸風の平均場を考へた。過去 25 年間の無降雨日において同地域における高陸風循環の水平スケールは日本海～札幌(日本海から 13 kmに位置)、太平洋～厚真(太平洋から 16 km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。

日本海沿岸地域において SST と陸地の気温の温度差は気候値で約 3.8 度となった。高温度差年は SST と陸地の気温との温度差が約 6 度とし、低温度差年は SST と陸地の気温との温度差が約 1 度から 2 度の年として解析すると、日本海沿岸地域において、海と陸の温度差が大きいと海風がより内陸に流入することが分かった。すなわち海風の流入スケールに関して、SST と陸地の気温との温度差が重要であることが分かった。また高温度差年、低温度差年を作り出す要因として、気圧偏差があげられる。海風の流入する時間は 1 時間値を使い、気圧偏差に関しては 1 か月値を使用しており、直接比較することはできないが高温度差年では南風が吹いており陸地の気温が高くなりやすい状況であり、低温度差年では北風が吹いており陸地の気温が低くなりやすい状況であった。

最後に SST の変化による海風の空間流入スケールについて議論するために、ラニーニャ年エルニーニョ年という、SST に過去 25 年間平均値から偏差をもたらす大規模気候場に注目した。石狩地域において、ラニーニャ年はエルニーニョ年に比べて SST と陸地の気温の差が大きかった事で、海風がより内陸に侵入した。一方でエルニーニョ年に関しては、SST と各サイトでの気温が下がり海風は札幌市北区周辺で収束となった。ま

たラニーニャ、エルニーニョ年において SST と陸地の気温に変化が生じることは気圧配置に原因があると考えられる。

以上より石狩地域から勇払地域における高陸風循環は、SST と陸地の気温との差および SST の過去 25 年間平均値からの偏差によって日中の海風収束域に変化が生じることが分かった。

謝辞：「本研究は文部科学省気候変動適応研究推進プログラム(RECCA)の成果の一部である。また、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。漢陽大学 Sang-Wook Yeh 教授に貴重なアドバイスを頂いた。記して深甚の謝意を表す。

参考文献

- 1) 小倉義光：一般気象学,242-247p,1984.
- 2) Jeffreys H： On the dynamics of wind,Meteor.Soc,48,29-46,1922.
- 3) Kimura R: Dynamics of Steady Convections Over Heat and Cool Island,J,Meteor,Soc,Japan,53,440-457,1975.
- 4) 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.
- 5) 河野仁,西塚幸子: 播磨平野(姫路)の高陸風の統計的解析-海面温度との関係,天気,53,No9,11-16,2006
- 6) 気象庁: 気象庁ヒートアイランド監視報告,第 3 章 1-28,2011
- 7) 気象庁札幌管区気象台・函館海洋気象台: 北海道の気候変化～北海道における気候と海洋の変動,93p,2010.
- 8) Niino H: The linear Theory of Land and Sea Breeze Circulation, J.Meteor.Soc.Japan,65,901-921,1987.
- 9) 堤純一郎,片山忠久,北山広樹,石井昭夫,西田勝: AMeDAS データの統計解析による夏季の高陸風特性,九州大学大学院総合理工学研究科報告, 239-246p,1988