

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 11 日現在

機関番号：14101

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24654151

研究課題名(和文) 9個のGPSゾンデ同時放球による海陸拡張型狭域移動観測で詳述される鈴鹿風

研究課題名(英文) Simultaneous multiple radiosonde observation on downslope strong wind

研究代表者

立花 義裕 (Tachibana, Yoshihiro)

三重大学・生物資源学研究科・教授

研究者番号：10276785

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円、(間接経費) 870,000円

研究成果の概要(和文)：三重県の中中部において、鈴鹿おろしの風上側から風下側にかけての大気の水平鉛直断面構造を描くため「同時複数ラジオゾンデ観測」を行った。  
この観測は風上側と風下側の観測点の間の距離が約35kmの狭域で実施され、GPSラジオゾンデを取り付けたバルーンを卓越風に沿った4地点の観測点で同時に放球するという新しい観測方法である。「同時複数ラジオゾンデ観測」は大気場の鉛直構造の細部を観測することができる。この観測によって強い西風に伴う典型的な鈴鹿おろしが観測された。鈴鹿山脈を越えて波が通過していくとともに等温位線の水平パターンは下方向に湾曲していた。この種類の強風域は山の斜面の風下側に沿って位置していた。

研究成果の概要(英文)：We took a "simultaneous multiple-radiosonde observation" to draw horizontal and vertical atmospheric structure from a windward side to a leeward side in the central part of Mie Prefecture. The observation was conducted in a narrow area (horizontal distance between the windward and leeward observatories is about 35 km). The simultaneous multiple-radiosonde observation is the new observational method in which we simultaneously launched balloons with GPS radiosondes at four observatories along the prevailing wind from the windward to leeward. This observation gives us horizontal and vertical atmospheric structure of Suzuka-oroshi. "simultaneous multiple radiosonde observation" to observe the detail of the vertical structure of atmospheric fields. Observations shows typical Suzuka-oroshi with strong westerly wind. Horizontal pattern of the isentrope curved downward with a wave passing over the Mt. Suzuka range. The strongest wind region was located along the lee-side of the mountain slope.

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学，気象・海洋物理・陸水学

キーワード：おろし風 GPSゾンデ 局地風 山岳波 同時観測

### 1. 研究開始当初の背景

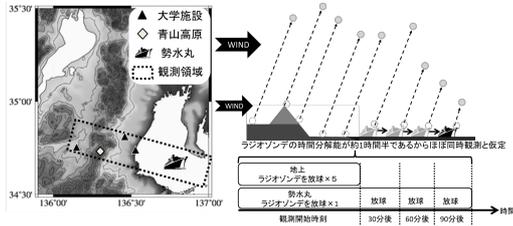
研究代表者の大学が所在する三重県の伊勢湾沿岸の津市付近では、「鈴鹿風(おろし)」という山越え気流に伴う強風が冬期にしばしば発生する。これは津市の北西に位置する鈴鹿山脈から津市を通り抜け、伊勢湾に吹く強い北西の風のことである。この強風は伊勢湾を埋め立てて建設された中部国際空港の航空機の離着陸にも悪影響を及ぼしている。強風を逆利用し、津市の西側に位置する青山高原は日本有数の風力発電施設の設置地帯となっている。鈴鹿おろしのような陸上から海上にかけて吹く風は、海上でも強風になり、海洋の鉛直構造や沿岸の海流にまで影響を及ぼしていることが考えられる。風風の観測的研究の多くは地上観測網のデータを用いた研究や、一地点からのゾンデ放球観測にとどまっている。おろし風の鉛直構造を知るためにはGPSゾンデ等による高層大気の観測を山岳の上流部、山頂、下流部等にかけての狭い範囲で多点に渡り実施しなければならない。しかし、そのような観測は世界中を探しても皆無である。皆無である理由は、1機のゾンデ受信機で放球可能なGPSゾンデは1個であり、同時放球可能な多数の受信機を所有する研究機関が希有であるからである。また、おろし風が海洋の鉛直構造に及ぼす影響について船舶を用いて直接観測した研究も皆無である。三重大学は練習船を所有し、そして研究代表者は日本最多である6機のゾンデ受信機を保有しており、これまでに多くの陸上および海上での観測的研究を実施してきた。このような経緯から、これら「武器」を技巧的に使い、世界初の手法を用いた「おろし観測」に挑戦する。

おろし風の観測としてロッキー山脈を越える風風の観測が有名である。これは航空機を用いて、温度構造の鉛直断面を観測している(Lily and Zipser, 1972)。この観測が今でもおろし風のスタンダードとなっている。しかし航空機で走査するには時間を要し、観測開始時刻と終了時刻には4時間の時間差があるため、この描像はスナップショットとは言い難く、風の直接観測もしていない。

### 2. 研究の目的

代表者保有の6機の受信機に加え協力大学から3機を借用し総計9機の受信機を用い、我々が発案した革新的観測手法である「9個のGPSゾンデ同時放球による海陸拡張型狭域移動観測」を、三重大学の練習船「勢水丸」と、三重大学の複数の陸上施設を同時に用いて、陸上と海上でのGPSゾンデによる多点同時連続観測と海洋観測の同時観測を成功させる。そして、この観測から得られる水平鉛直方向に密なデータを基に鈴鹿おろしの鉛直構造を記述し、強風のメカニズムを解明し、さらに、おろし風が風下の海上を吹送することによる、海洋表層への影響を調べる。

### 3. 研究の方法



上の図は、三重県周辺の地形図とGPSゾンデ放球の概略図である。

#### (1) 地上5観測地点を用いた風に平行な断面観測

鈴鹿おろしは、北西または西風の大規模風が卓越する際に発生する。本研究では、鈴鹿おろしとはほぼ平行に観測ラインを設定し、上流から下流にかけての陸上の5地点で同時に上空の大気を直接観測する。GPSゾンデ観測は風船の流跡線上の観測値(図右上:破線)を得る事ができるため、全ての観測値を用いる事で観測時の大気の鉛直水平構造を断面的に記述することができる。

#### (2) 観測船を用いた風下方向への移動観測

おろし風に伴う強風は、海上に出ても吹く。海上での大気の鉛直構造を知るため、図に示すように、伊勢湾上に三重大学練習船「勢水丸」で海上観測点を設定する。そして陸上観測点と同時に船舶からもGPSゾンデを放球し、直後に船を全速力で風下側へと走らせる。移動しながらも30分後、60分後、90分後にGPSゾンデを各々放球する。

#### (3) (1)と(2)を組み合わせた海陸拡張型狭域移動観測

GPSゾンデ観測は、放球後2時間程度大気を上昇する事から、得られる鉛直プロファイルの時間分解能は2時間程度とされる。一般におろし風は、数時間継続して吹く事から、今回の陸海上間での90分程度の放球時刻のずれは、ほぼ「同時」と考えてよいであろう。つまり、1隻の船で移動しながら連続的に放球する事で、3隻の船から同時に放球した場合に相当する観測をやったのける手法である。陸上の上流から、海上の下流にかけて9個のGPSゾンデ放球観測を行う事により、おろし風の陸上から海上までの鉛直水平断面構造を記述することができる。

### 4. 研究成果

ラジオゾンデの観測の結果一例について述べたい。ラジオゾンデの軌跡の図を描いた(図省略)。その結果、ラジオゾンデは放球後は上空の西風に流されおおむね東へと移動した。浮力を大きくしたラジオゾンデは上昇速度がハイスピードであるために、あまり東には流されていないことが確認できた。複数のラジオゾンデを複数の点から放球することで、ほぼ同一時刻における複数の観測線上での風、温度、湿度データを取得することができた。伊賀、青山、農場、三重大学はほ

ば西から東に向かい一直線上に並んでいる。従って、これら取得データから東西鉛直の二次元の断面上に、風などの気象要素をプロットすることで、その分布の詳細な構造を得ることができた。

放球されたバルーンは風により水平方向に流されながら上昇を続ける。放球後のバルーンの水平流跡線は放球時の大気場の流れによって決定され、ほぼ全てのバルーンがその時の風下側に流されていく。全てのラジオゾンデが位置情報を持っていることから、1回の観測につき7本の流跡線を得ることができ(図省略)、その流跡線に沿った気象要素を得る事が可能である。このことからバルーンが流された方向(風下方向)をx軸、高さをz軸とした場合、流跡線に沿った疑似的なx-z断面を作成することができ、この断面を本研究では準断面とする(図省略)。準断面図によると、下層(約2000m以下)が西北西風であるのに対し、上空では西南西の風が吹いていた。また、そのときの風速偏差分布(図省略)を見ると山を境界に風下にかけて吹き降りるような強風分布が見られる。これは下層の西北西風に対応していると考えられる。また、風上と風下で明確な風速偏差がみられ、風下側の方が強い風が吹いていることがわかった。以上のことから、強風発生には鉛直の風向シアの存在が必要であることが考えられる。

山越え気流発生時には山を越えた流れが斜面に沿って滑降り風下側で跳ね上がる「跳ね水現象」(ハイドロリックジャンプ)を伴うことがあることが知られている。また、ハイドロリックジャンプ発生時においては、跳ね上がる直前の場所で最も流れが強くなることが知られている。今回、観測された時間においてもハイドロリックジャンプが発生していたか確認する必要がある。そこで観測された気温、気圧、湿度から相当温位を計算し、ハイドロリックジャンプが発生していたかを確認した。相当温位は偽断熱過程(系外との熱のやりとりは無いが、水蒸気の凝結などの相変化がある場合)のもとでは保存量であるため、ある相当温位を持つ空気はその等相当温位線に沿うことでしか動くことができない。よって相当温位の準断面を見ることで大気が断面上をどのように流れていたか確認することが可能である。計算した相当温位と水平風速偏差の準断面図によると(図省略)風上の上空(2000m~2500m付近)の等相当温位線が山頂風下側の下層まで下降してきており、これに対応するように風下下層で強い風が観測されている。また山を越えた後、等相当温位線が跳ね上がっている様子も見られる。これは過去の研究で示されてきたハイドロリックジャンプの特徴に類似している。このことから、ハイドロリックジャンプが発生していた可能性が高いことが示唆され、そのスナップショットを捉えた貴重な観測事例を同時多点ラジオゾンデ観測か

ら得たことになる。

ハイドロリックジャンプはその波状構造から波に沿った強い鉛直流を伴うことが知られている。山頂付近は、上空の風が吹き降りる事で発生する強い下降流が存在していることになる。そこで、ラジオゾンデ観測に使用した気球の上昇速度の変化から大気中の鉛直流の分布を見積もり、ハイドロリックジャンプに伴う鉛直流が存在していたかを確認した。ラジオゾンデの上昇速度から推定した下降流と上昇流の分布は等相当温位線の傾きと非常に一致していた。特に等相当温位線の谷部にあたる山頂付近で強い下降流、その後の風下側の等相当温位線の跳ね上がり位置する場所では強い上昇流を示した。この鉛直流の分布と相当温位の波状分布の一致から、この時間においてハイドロリックジャンプが発生していた可能性が非常に高いと考えられる。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計11件)

安藤雄太, 立花義裕, 根田昌典, 内田誠, 前川陽一, 中村亨, 仲里慧子, 実用的条件下での渦相関法とバルク法による海面乱流フラックスの比較, 海と空, 89(1), 1-8, 2013, 査読有

西川はつみ, 立花義裕, 池田尚仁, 伊藤匡史, 宮本守, 緒方香都, 大鹿美希, 大富裕里子, 仲里慧子, 中村亨, 前川陽一, 内田誠, ラジオゾンデ連続放球による海洋上気象観測の収支計算の可能性, 海と空, 89(1), 25-32, 2013, 査読有

立花義裕, 小松謙介, 山田祐司, ラジオゾンデ多点同時観測の回想記-三重大学農場と三重大学伊賀拠点を利用して-, 三重大学生物資源学研究科紀要, 査読なし, 38, (2012), 89-99

小田巻実, CEOF(複素経験的直交関数展開)解析に関するノート: アビキ(巨大副振動)に関連する気圧変動の解析, 三重大学生物資源学研究科紀要, 査読なし, 38, (2012), 101-112

[学会発表](計61件)

小田巻実, 内田誠, 前川陽一, 中村亨, 岡田果林, 平成25年7月に発生した熊野灘の沿岸湧昇, 2014年度日本海洋学会春季大会, 2014年3月27日, 東京海洋大学品川キャンパス

小田巻実, 内田誠, 前川陽一, 中村亨, 岡田果林, 平成 25 年 7 月に発生した熊野灘の沿岸湧昇, 2013 年度海洋気象学会第 2 回例会, 2013 年 12 月 18 日, 大阪合同庁舎第 4 号館第 2 共用会議室 (大阪市中央区)

Hatsumi Nishikawa, Yoshihiro Tachibana, Yoshimi Kawai, Mayumi K. YOSHIOKA, Hisashi Nakamura, Sea fog observed by a simultaneous radiosonde launches by three research vessels over a SST frontal region in the Kuroshio Extension, A43A-0207, 2013 AGU Fall meeting ( San Francisco USA, Moscone Center 2013/12/12)

小田巻実, 内田誠, 前川陽一, 中村亨, 堀江正征, 山本一郎, 中瀬優, 久野正博, 熊野灘の漂流予測モデルの開発, 海洋調査技術学会第 25 回研究成果発表会 2013 年 11 月 29 日, 海上保安庁海洋情報部 (東京都江東区)

久野木梓織, 佐藤和敏, 児玉安正, 濱野五月, 三井拓, 若杉春彦, 万田敦昌, 飯塚聡, 立花義裕, 見延庄士郎, 川合義美, 黒潮が鹿兒島沖で発生した梅雨前線に及ぼす影響, 日本気象学会 2013 年度秋季大会 (仙台市, 2013-11-19-21)

西川はつみ, 立花義裕, 川合義美, 吉岡真由美, 中村尚, 3 隻同時観測で捉えられた黒潮続流域の霧 大気-海洋相互作用, 日本気象学会 2013 年度秋季大会 (仙台市 仙台国際センター 2013/11/19)

西川はつみ, 立花義裕, 川合義美, 吉岡真由美, 中村尚, 3 隻同時観測で捉えられた黒潮続流域の霧 大気-海洋相互作用, 大気海洋相互作用に関する研究集会 (京都市 京都大学理学部セミナーハウス 2013/10/27)

万田敦昌, 児玉安正, 飯塚聡, 立花義裕, 茂木耕作, 川合義美ほか 31 名, 東シナ海黒潮上における風速強化 -2012 年 5 月の事例解析-, 2013 年度日本海洋学会秋季大会 (北海道大学, 札幌市, 2013 年 9 月 18-20 日)

西川はつみ, 立花義裕, 川合義美, 吉岡真由美, 中村尚, 3 隻同時観測で明らかとなった黒潮続流水温フロント上のメソ高・低気圧, 東京大学大気海洋研究所国際沿岸海洋研究センター研究集会 (大槌町 大槌町役場中央公民館 2013/08/26)

Hatsumi Nishikawa, Yoshihiro Tachibana and Yusuke Udagawa, Radiosonde observational evidence of the influence of extremely SST spot upon atmospheric meso-scale circulation, A-544-0009-00538, DACA-13 ( Davos, Swiss, Davos Congress 2013/07/10)

Kensuke Komatsu and Yoshihiro Tachibana, Quasi x-z cross section analysis of the flow over the mountain by simultaneous multiple radiosonde observation in a narrow area, EGU2013-6651, EGU General Assembly 2013 ( Vienna, Austria, Austria Center Vienna, 2013/04/10)

Kensuke Komatsu and Yoshihiro Tachibana, Downslope wind captured by simultaneous multiple-radiosonde launches with different buoyancy, A31C-0035, 2012 AGU Fall meeting ( San Francisco USA, Moscone Center 2012/12/05)

Hatsumi Nishikawa, Yoshihiro Tachibana and Yusuke Udagawa, Radiosonde observational evidence of the influence of extreme SST gradient upon atmospheric meso-scale circulation, OS21A-1660, 2012 AGU Fall meeting ( San Francisco USA, Moscone Center 2012/12/04)

〔図書〕(計 1 件)

杉本隆成, 小田巻実, 他, 恒星社厚生閣, 詳論沿岸海洋学, 2014, 261 (21-43)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

立花 義裕 (TACHIBANA, Yoshihiro)  
三重大学・生物資源学研究科・教授  
研究者番号: 10276785

### (2) 研究分担者

小田巻 実 (ODAMAKI, Minoru)  
三重大学・生物資源学研究科・特任教授(教育担当)  
研究者番号: 60624533