

# 係留気球で観測された局地的不連続線の立体構造\*

佐橋 謙\*\*・大重 義法\*\*\*

## 要旨

係留気球を使用して地上 600m 程度までの接地気層の観測中に局地的な不連続面の通過と思われる現象に遭遇した。得られた資料のイソプレットを中心に解析した結果、不連続面の勾配は地上 400m では 1/80, 150m で 1/550 と言うように低高度ほど小さく、地表面摩擦の効果が暗示されること、風向の不連続面が通過し終わって約 3 時間遅れてから気温、水蒸気圧および風速の不連続面が通過すること、また、不連続面の付近で、鉛直速度の最大値が現れること等がわかった。

## 1. 序文

前線面の地表に対する傾きや、その周辺での各種気象要素の変化については、シノプチックスケールのものに関しては多くの報告もあり、また、教科書などにも書かれている(例えば Pettersen, 1940)。しかし、地上高度 1 km 以下の気層についての報告は海風前線や陸風前線についてのもの(例えば Simpson など, 1977)以外にはほとんど無い。松浦等(1989)が寒冷前線の下層の観測をした結果を報告しているが、ドブラソーダによるもので、測定要素は風だけであり、高度分解能もそんなに高くない。

筆者らは、係留ゾンデシステムを使用してヒートアイランドの観測を実施中に、偶然、弱い前線面の通過と思われる現象に遭遇した。このシステムは、測定要素として気圧、気温、湿球温度、風向および風速を含み、地上 1 km 以下の程度の高さのそれらの鉛直分布を、気球を上下させることによって観測することが出来るものである。従って、約 10 m の程度の高度分解能で現象を把握することが出来る。この様な観測例はまだ無いと思うので報告する。

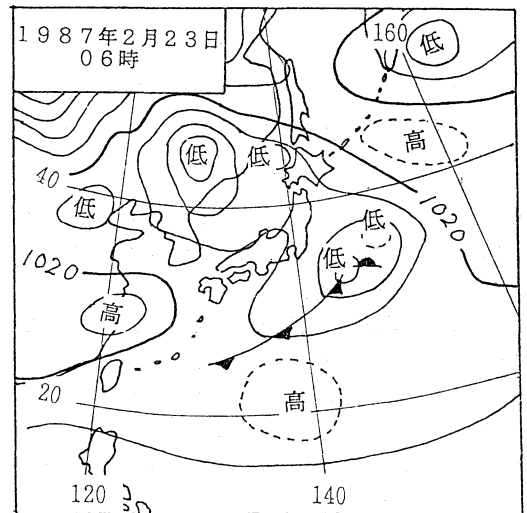
## 2. 観測

1987年 2月22日から23日にかけて、岡山大学教育学部

\* Structure of a local front observed by a tethered balloon.

\*\* Ken Sahashi, 岡山大学教育学部.

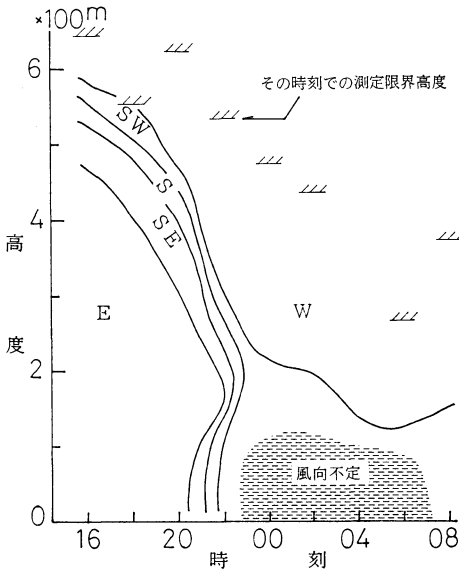
\*\*\* Yoshinori Ooshige, 笠岡市立神島外中学校。  
—1989年 6月20日受領—  
—1989年 9月25日受理—



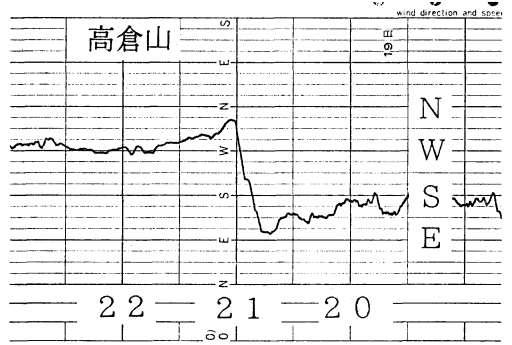
第1図 地上天気図(1987年 2月23日06時)。  
等圧線は 4 mb 毎。

グラウンドにおいて、AIR社製ゾンデシステム TS-1A-1 を使用して、岡山市に発生するヒートアイランドの構造を調査するための観測を行っていた。観測は18時に開始し、翌日 8時に終了した。この間、原則として 2時間おき(ただし 04時のみ欠測)に約 40分をかけて気球を飛ばし、前節で述べた各要素の鉛直分布を得た。得られた資料は、上昇時と下降時の同一高度の値を平均すると言う筆者らの開発した時刻補正法(1988)を適用し、その後の解析に使用した。

観測を行った場所は、岡山市街地の北の端で、観測点から北へ約 1 km の所から標高 150m 程度の丘陵地が始



第2図 風向のイソプレット (1987年2月22日～23日). ///はその時刻での係留気球の上昇限度を示す.



第3図 高倉山 (標高 460m) での風向の記録 (1987年2月22日).

まり、北へ行くほど高くなり約5km 離れると標高 300 m位となっている。南は約10 km 位は平坦で市街地が続いている (第6図参照)。

当日のシブチクな気象状態は、第1図に示すように日本全体が広くて浅い気圧の谷となっており、高気圧の中心は揚子江中流と千島列島の南にあり、日本列島の南方に弱い前線があった。さらに、局地天気図によれば九州の五島列島付近に高気圧の中心があり、そこからリッジが瀬戸内海沿いに東方に岐阜県辺りにまで延びていた。

岡山県の天気は22日午後から中層雲がほとんど全天を覆っていたが、22時頃から雲量が減少し始め、翌23日01時には雲量0となり03時頃までその状態が続いた。04時には視界約500m くらいのやや濃い霧が発生し、1時間半くらい続き、その後雲量8程度となった。

3. 結果と考察

以下に、得られた記録をイソプレットに表現することにより示される結果とそれに基づいていくつかの考察を述べる。

3.1 風向の時間変化と現象のスケール

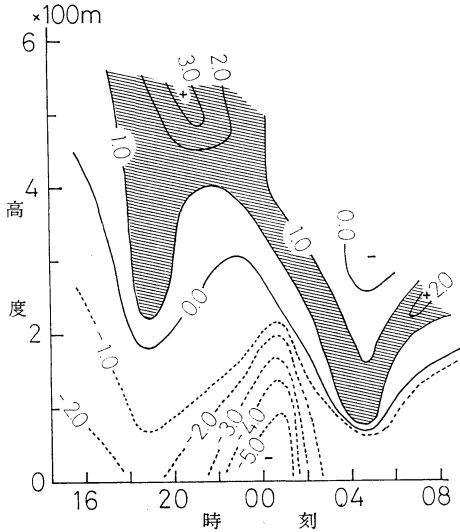
第2図に風向のイソプレットを示す。16時には地上600m以上で西風が、500m以下で東風が、22日20時には

450m 以上で西風、350m 以下で東風、と言うように、西風の領域がだんだんと下降しており、少なくとも地上200m 以上の高さでは最初東風だったのが、2時間程度の比較的短い間に西風に置き替わって行ったのが明らかである。

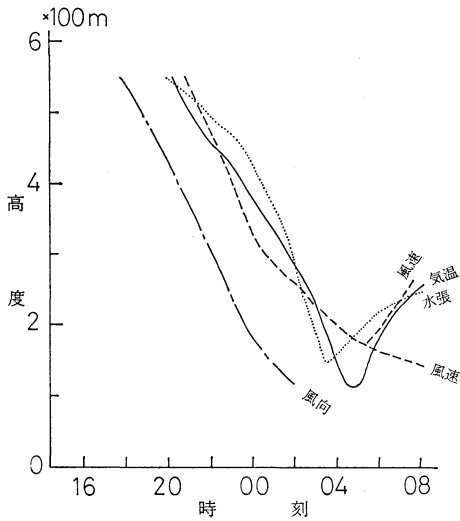
このような風向の変化が我々の観測地付近だけのごく局所的なものかどうか、それは、小さな低気圧のような渦の通過の一部を見ているのか、または不連続面のような面の通過を見ているのか、あるいはそれ以外の現象なのかを検討するため、我々の観測点から北北東へ約8 km 離れた標高 460m の高倉山 (第6図) 山頂にある観測点での風向の記録紙を調査した。その結果、第3図に示すように21時前後に南東から西への風向変化が記録されている事がわかった。この高度では、我々の得た第2図によっても、ちょうど風向が西に変わり終わったときに一致し、係留気球で捉えた現象と高倉山での現象は同じものと考えられる。すなわち、この現象は水平方向に少なくとも数 km の大きさを持つ、面状の現象の通過である可能性が強い事がわかった。一方、前節で述べた通り、局地天気図によれば、岡山県南部はリッジに覆われており、この現象は局地天気図に現れるほどのスケールでないこともわかる。

3.2 他の要素の時間変化

このような局地的な不連続面のようなものの存在をイソプレット上で確認するのに、第2図のようなそれぞれの要素の絶対値をプロットするよりも、その変数の時間的な変化量をプロットした方がわかりやすい場合が多い。例えば、気温についてその時間変化量をプロットすると第4図が得られる。図中でハッチされた部分は変化量が特

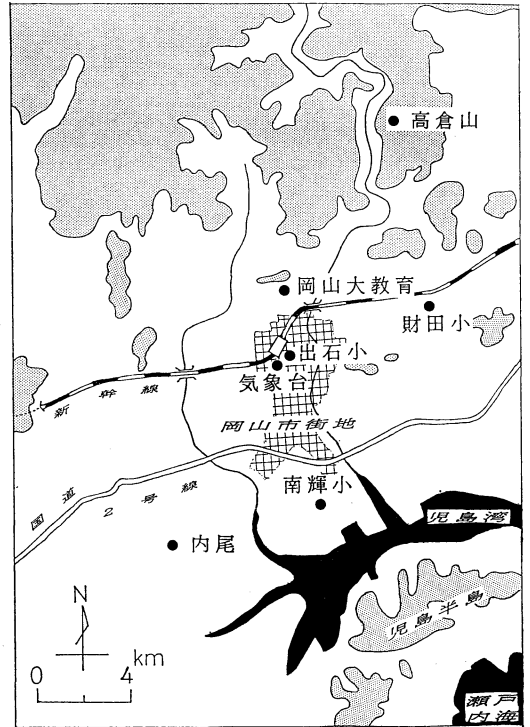


第4図 気温の時間変化のインプレット (単位は°C/時, 日時は第2図と同じ). 正(実線)は気温上昇を, 負(点線)は気温下降を示す.



第5図 各要素の時間変化量の最大位置を結んだ線.

に多い部分である。同様の図を風向、風速および水蒸気圧について作成すると、それぞれの要素について、第4図の同様な変化量が最大になる領域が現れた。これは3.1節で述べた風向の急変と関連して、気温や水蒸気圧等についても急変が起こったと言うことで、この現象は

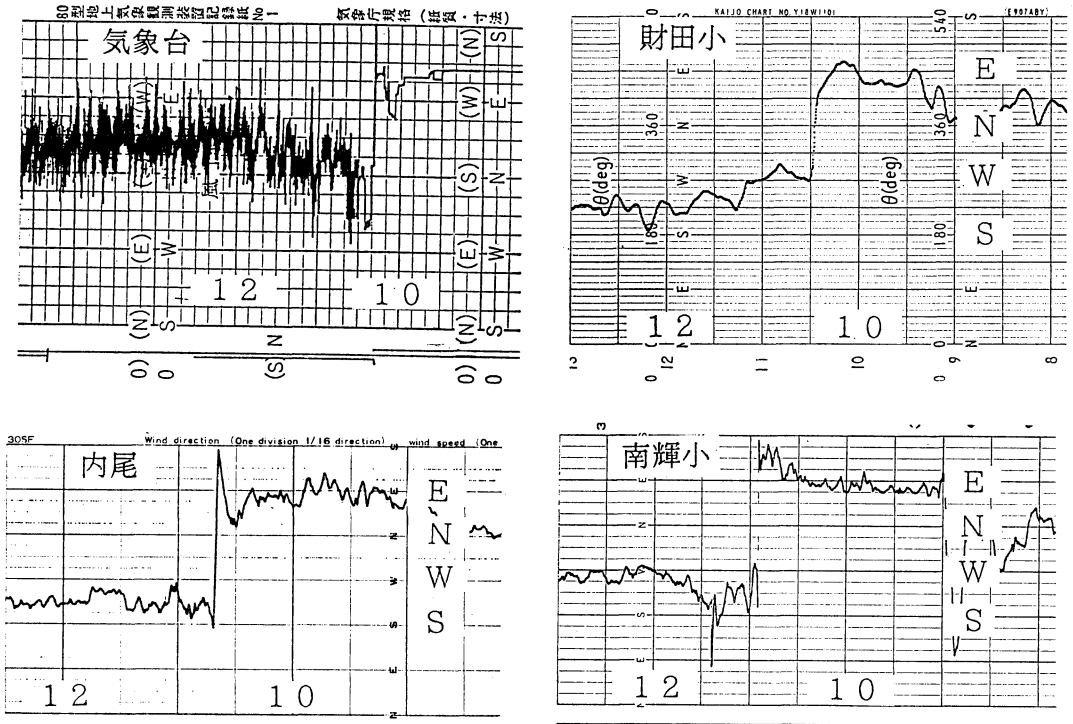


第6図 岡山市付近の地形と風向の観測点. ハッチの部分は海拔100m以上の地域.

規模は小さいにしても、ある種の不連続面の通過と考えて良さそうであり、そう考えると、上述の各要素の時間変化量の最大の部分は不連続面に当たることになる。そこで変化量の最大値の位置を通る曲線を引いて、それを一枚の図に重ねて書くと第5図が得られた。つまり、第5図に示された4本の曲線はそれぞれの気象要素についての不連続面の鉛直断面と考えられる線の位置である。

この図には大きな特徴が3つある。第1は、風速、気温および水蒸気圧の不連続面についてはほぼ同じ位置で、風向のそれだけが各高度で3時間程度先行していること。第2に、前線面は平面ではなく、高度が300mくらいから低いところではそれより高いところよりも、水平面に対する角度が小さくなっていること。第3に、風速、気温および水蒸気圧についての不連続面は、04時から06時にかけて一度最低高度(100~150m)に達した後、再び上昇していること。の3点である。

第1の特徴については、風速、気温、水蒸気圧の不連続面の位置はこの図上では必ずしも一致していないが、これはむしろ観測時およびデータ処理時に介入する誤差



第7図 不連続線通過にともなう各地の風向の変化。

とみて良いもので、空間的に同じ位置にあるものとみて良いであろう。従って、第5図は風向の変化が完了してから、それぞれの要素の変化が始まっていることを示しているのであろう。第2の問題は、次節でやや定量的に検討する。第3の特徴の原因は今の所不明である。最後の観測時にはもう日射が始まっているが、日射の開始による各要素の時間的な変化は地表近くほど大きい筈で、第5図のようににはならないから、日射のせいではない。また、風速の不連続面が、05時以降で高さ方向に二重になっているが、風速の時間変化の極大値を機械的に連ねるとこの様になったので、その理由は今のところ定かでない。

3.3 不連続線の進行速度と不連続面の勾配

第2の問題については、この様な前線面の傾きの変化は、前線面が地表摩擦によって引きずられたためとも考えられ、興味のある点である。これについては、適当な位置での不連続線の通過時刻がわかれば、いくつかの仮定を置くことにより、不連続面の勾配の高さ方向の変化を求めることが出来る。

岡山市内で、今回の現象に関係のありそうな地域内で

風向の連続記録を得ている観測点は第6図に示す岡山地方気象台、岡山大学農学部(第6図では特に示していないが、図中の岡山大教育とある場所から約0.5km西である)、出石小学校、財田小学校、南輝小学校、岡山県環境保健センター(内尾)の6箇所である。これらの資料を点検したところ、上記の内、前3者については該当するような風向の変化は見いだせず、後3者について第7図に示すように明瞭な風向変化を追跡することが出来た。これらの風向変化の起こった時刻は、第3図で示した高倉山でのその時刻と大幅に違いますが、これは高倉山の標高を考えれば全く不合理ではない。第7図によると、23日10時30分前後の風向変化に際して、時計廻りなのか、反時計廻りなのか判然としないものもあるが、この際は変化があった事だけに注目し、それは問題にしないことにする。

この3地点の不連続線の通過時刻を、各地点での風向変化の開始時刻として第7図から読み取り、この3地点を含む範囲内で不連続線は直線で、移動方向はその直線に直角でかつ移動速度は一樣であった、と仮定することによって、不連続線の走向と移動速度を求めることが出

表 不連続面の勾配

高度 (m)	勾配
400	1/80
200	1/220
150	1/550

来る。その結果は走向は東北東から西南西で移動速度は南南東の方向へ毎時11 km となった。この値と第5図とを使用することによって不連続面の勾配を求めると表の通りとなった。第5図では要素によって勾配に多少の違いがみられるが、この値はれそらを平均した結果である。また第5図の04時以後の不連続面上昇は考慮にされていない。表の結果は、地上200mについては、たまたまシノブチェックスケールの場合について言われる不連続面の勾配とほぼ一致するが、接地気層中でその値より小さくなっており、地表摩擦による効果を示していると考えられる。

3.4 不連続面近くの鉛直速度

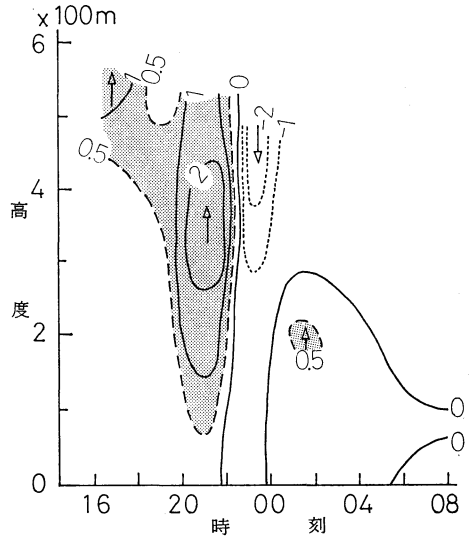
前節で不連続線の進行速度が推定できたから、いま考えている地域内で、状態は2次元であり不連続線に平行な向きには気象要素の空間的变化は無いとすれば、我々の測定した水平面内の風速の発散・収れんを考えることにより、風速の鉛直分布を求めることが出来る。連続方程式は

$$\frac{d\rho}{dt} = \rho \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial z} \right)$$

の様に書けるが、今のような場合、左辺は右辺に比べて小さく無視できる。その様な考えのもとに、我々の得た風速分布の資料から鉛直速度を計算すると、第8図が得られた。やや複雑なパターンを示しているが、ハッチされた部分は上向きの速度成分が0.5 cm/sec 以上の領域で、第5図と比較すると一般に不連続面の部分で上向き速度が大きくなっており、その最大値は2 cm/sec に達しているのがわかる。

4. 結語

たまたま遭遇した弱い不連続線の通過時の係留気球の観測結果から、気温、風、水蒸気圧などの気象要素別の不連続面の位置を決定し、さらに不連続面の勾配、その付近での鉛直速度などを求めた。あまり報告されたことの無い資料であり、接地気層中での不連続面の振舞いを示す一例になると思う。



第8図 鉛直速度分布。数字は cm/sec, 負は下向き。ハッチの部分は上向き速度の大きい領域を示す。

3.3節で、風向の特徴的な変化が岡山地方気象台で見られないことを述べたが、これについてはその場所では東風の領域内では風が非常に弱く、西風への変化の起こり初めが不明瞭になったものと考えられる。これに関連して、岡山県内のアメダスの資料を点検したところ、風向変化の明瞭なのは全く無く、県南部と西部で気象台と同じく、風向には変化がみられず、風速にある時刻から急に強くなっているという傾向がみられ、その時刻は23日09時から12時の間であった。すなわち筆者らのゾンデシステムで測定された現象は、せいぜい水平方向に20 km程度の現象であったと言うことである。この不連続線は、筆者らの一人が指摘している二種類の海風(佐橋, 1978)の収れん線ではないかと考えたが、その発現の範囲、時刻などからそうではないようである。

最後に、風向の自記紙を閲覧させて頂いた関係各官署、係留ゾンデー式を貸して頂いた岡山大学教養部塚本助教教授にお礼申し上げる。徹夜の観測に協力を惜しまなかった岡山大学教育学部理科教室の学生諸君にも謝意を表したい。

引用文献

松浦 馨, 上田 博, 1989: 前線付近の大気境界層の構造, 1989年春季大会講演予稿集, 日本気象学会。

Pettersen, S., 1940: Weather analysis and forecasting. N.Y., McGraw-Hill Book Co.  
 佐橋 謙, 1978: 岡山周辺の海陸風について, 天気, 25, 357-363.  
 佐橋 謙, 大重義法, 1988: 係留気球による鉛直分

布の観測値に対する時刻補正について, 岡山大学教育学部研究集録, 79, 39-46.  
 Simpson, J.E., Mansfield, D.A. and Milford, J.R., 1977: Inland penetration of sea-breeze fronts. Q.J.R.M.S., 103, 47-76.

## 気候変動による環境・社会影響に関する国際会議のお知らせ

### <主催>

気候影響・利用研究会, 国連環境計画 (UNEP)\*,  
 世界気象機関 (WMO)\*, 筑波大学  
 (\*現在要請中)

### <共催予定団体>

日本学術会議, 環境科学会, 建築学会, 水文・水資源学会, 土木学会, 日本気象学会, 日本水産学会, 日本水文科学会, 日本生気象学会, 日本生態学会, 日本雪氷学会, 日本地理学会, 日本農業気象学会, American Meteorological Society, Commission on Climatology (International Geographical Union), 科学技術庁, 環境庁, 国土庁, 外務省, 農林水産省, 通商産業省, 気象庁, 建設省

期 日: 1991年1月27日 (日)~2月1日 (金)

場 所: 筑波大学

会議の目的: この会議の目的は二つある。

- (1) 国内外からの多分野の研究者が集まり, 環境・社会に対する気候変動の影響について, 研究方法・研究成果の高度化・共有化を推進すること。

- (2) 気候変動による影響の研究における情報交換・研究成果の交流等のより一層の効率化を図るため, 国際的なネットワークを拡充すること。

テ ー マ: 水文と水資源への気候変動の影響/自然生態系への気候変動の影響/農林業・水産業への気候変動の影響/産業活動と人間生活への気候変動の影響/気候とエネルギー問題/健康と人間住居への気候変動の影響/気候のモデリング, モニタリング, 及びシナリオ

使用言語: 英語

アブストラクト: 400 語以内 (図・表含まず)

締切 1990年7月31日

登録費: 1990年7月31日まで, 16,000円

1990年8月1日以降, 20,000円

(パンケットおよびツアー費は別)

問い合わせ: 〒305 つくば市天王台 1-1

筑波大学地球科学系

河村 武

電話 0298-53-4400 (直通)