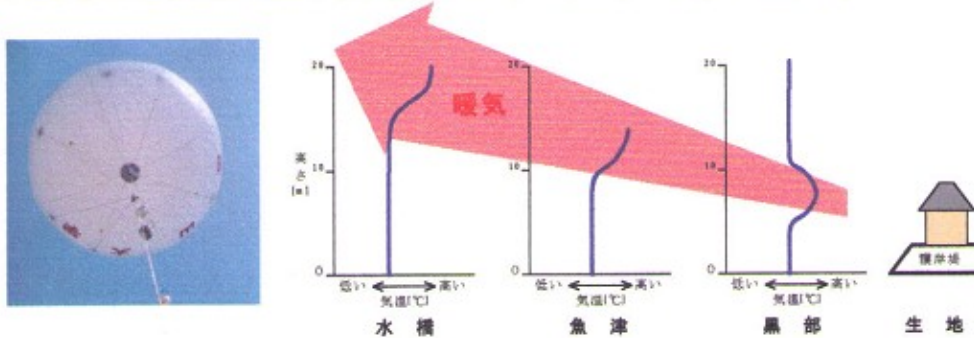


# 富山湾の曇気楼における発生理由の解明 —暖気の形成過程—

市瀬和義（富山大学教育学部）、木下正博（滑川高校）

## 1 はじめに

- (1) 【雪解け水説】 立山連峰の冷たい雪解け水→直接海上気温を調べていない
- (2) 【暖気移流説】 1999年、海面上の気温の鉛直分布を直接観測→特に冷気層が海面付近に形成されるわけではなく、暖かい大気が海上に流入して発生する現象：「暖気移流説」<sup>1)</sup>を発表
- (3) 【海上気温の鉛直分布—暖気の流れ—】 2001年、富山湾の海上3ヶ所（黒部、魚津、水橋）にバルーンをあげ気温の鉛直分布を観測→黒部の海上に移流した暖気は生地から富山方面に向かって次第に混合され上昇しながら広がっていくことが分かった<sup>2)</sup>。



【図1】バルーンと暖気の流れ予想図

- (4) 【暖気の形成過程】 海上に暖気移流している→どのように形成されてきたかは不明
- ①田中から水橋までの海岸付近で、気温の鉛直分布及び風向・風速を観測し、②田中から吹いてきた風が陸地を通過してどのように暖められていくか、その形成過程を調べる ことを目的とした。

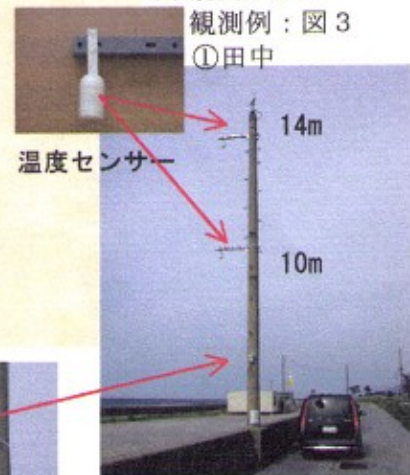
## 2 観測方法



- (1) 観測地点  
図2に観測地点を示す。  
生地鼻、立野、黒部  
バルーン、魚津は  
気温のみ。  
あとの地点は、気温、  
風向、風速あり。

【図2】観測地点  
●：今年度設置  
○：既存のもの

- (2) 観測方法  
観測例：図3  
①田中



- ②フィッシャリーナ（ポール）  
風向・風速：2ヶ所  
気温：10ヶ所



温度記憶計ロガ



SK-L200T

【図3】田中

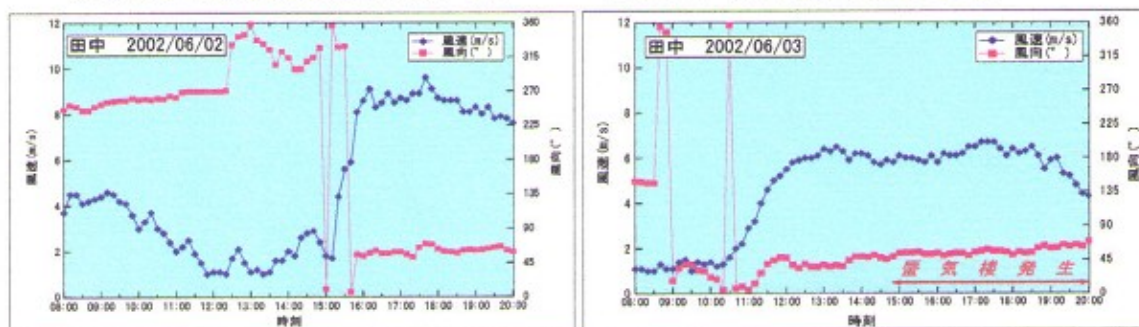
### 3 観測結果

(1)2002年の蜃気楼：例年に比し不作の年、7回。夜の蜃気楼を初めて観測（6/3）<sup>3)</sup>  
 本報告ではデータが全てそろっている6/3を中心に解析。また比較のため、蜃気楼の出ない日として、気象条件がよく似ている前日（6/2）を選んだ。

①田中の風：蜃気楼発生時の鍵を握る

6月2日（蜃気楼の発生しない日）

6月3日（蜃気楼の発生した日）



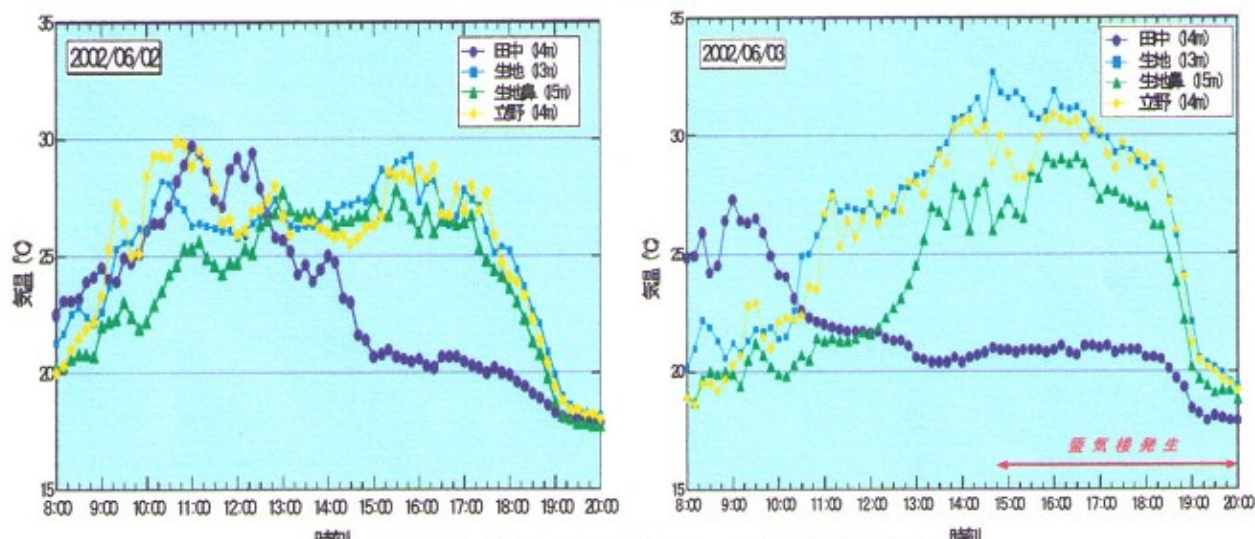
【図4】2002.6.2と6.3の田中の風

a) 6/2（蜃気楼の出ない日）

15：00ころまで西から北西の風、風速2~4m/s。図5の田中の気温の日変化は晴天日の様相を示す。しかし16：00ころから北東の風、風速8m/sと強くなる。この連続した風の影響で、田中の気温は16：00~18：00ころにかけて21℃に急激に下がり、晴天日の日変化とは異なる変化を示す。この風は長時間吹き、田中から生地に向けて通過。地熱の影響で生地鼻、生地、立野の温度上昇の原因となる。

b) 6/3（蜃気楼の出た日）

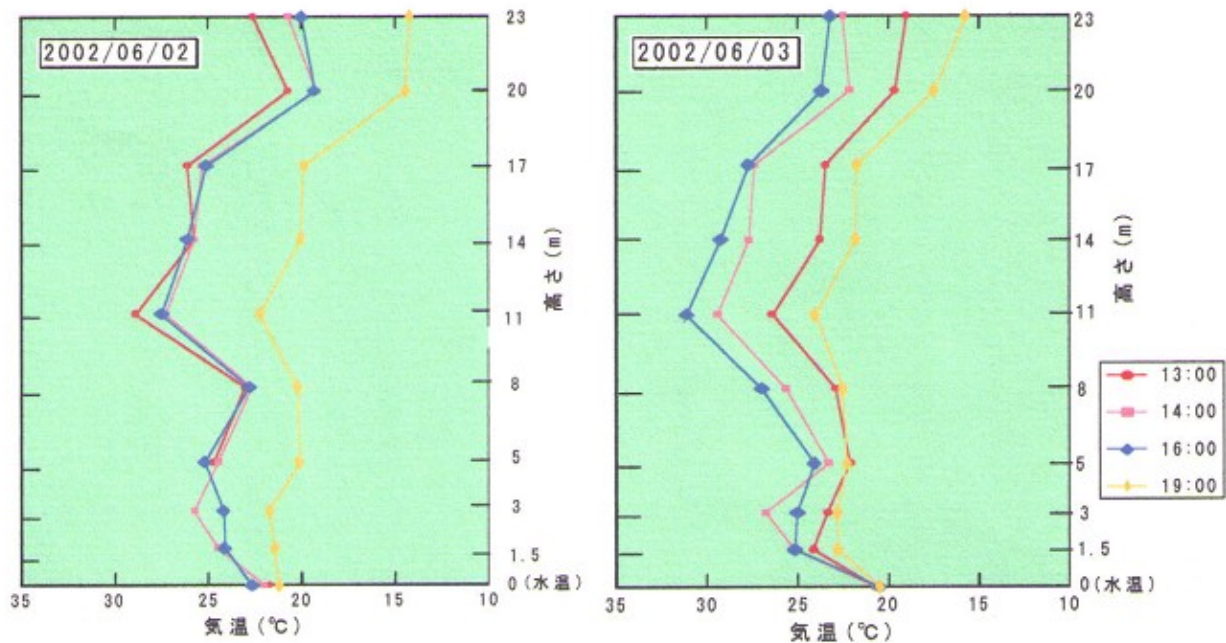
6m/sの北東の風が12：00~19：00まで安定して吹く。この時間帯の気温は21℃で水温に近い。この風は安定した気相を形成し、この風をうけて生地鼻、生地、立野は図5にみられるように30℃以上になり田中に比べると10℃以上となる。これは6/3は12：00という早い時間から田中から生地にかけて一定の風が吹くことで、地熱の影響を受けた大気が陸上を通過するためであり、そこに日射が加わって大きな温度上昇が起こるからと考えられる。



【図5】2002.6.2と6.3の田中～立野の気温の日変化

②石田フィッシャリーナの気温の鉛直分布

6/2と6/3の気温の鉛直分布を特に蜃気楼発生時の時間帯（6/3の14：45~20：00）を中心に図6に示す。6/2と6/3は、いずれも11m付近に暖気の移流が認められる。しかし、13：00~16：00ごろの時間帯での気温変化について見てみると、6/2ではほぼ同じであるのに対し、6/3は約5℃以上の際立った温度上昇があることが分かる。一方、下層の1.5~5mでは22~25℃であり、上層に比べ時間による変化は小さく、水温（約21℃）の変化はほとんどない。このことは下層の空気は暖気移流の影響をほとんど受けていない空気であることを意味する。



【図6】2002.6.2と6.3の石田フィッシャリーナの気温の鉛直分布

#### 4 考察

(1) 陸地の温度上昇がきわだっていないと蜃気楼は出ない

図4で明らかなように蜃気楼は北東よりの風で出る。このことは先人たちの観測結果と一致する。しかし、発生前から安定した風が継続的に吹いていなければならない。まず、富山湾東部沿岸に海からの安定した風が吹く。この風が田中から入り込み、陸地を通ってくることで、生地の大気が暖められ、気温はかなり上昇する。6/2がそうであるように、たとえ風向が出やすくても、地熱の温度上昇が認められないと蜃気楼は出ない。例えば魚津だけで早い時間から北の風が吹いていたとしても、富山湾東部沿岸一帯に暖気を形成する気層がなければ出ない。逆にもしそういった空気の流れがあれば蜃気楼がぼっと出ると考えられる。

(2) 冷氣層は陸地を通過しない

図6に示されるように、石田フィッシャリーナでは下層における気温の時間による顕著な変化は見られない。このことから冷氣層は陸地を通過しない空気が持続して吹いていることが予想される。この冷氣層の気温は田中で観測される気温に近い。つまり、海上にある空気がそのまま冷氣層を形成していると考えられる。またこの冷氣層は、海面水温によって冷却されたものとは考えにくい<sup>1)</sup>。ここで問題になるのは石田フィッシャリーナで上層も下層も北から北東にかけて2~4 m/sの風が吹いている事実である。蜃気楼が長時間持続するには陸上を通過した空気と、陸上を通過しない空気が同時に吹く必要があるといえる。

(3) モデルの提案

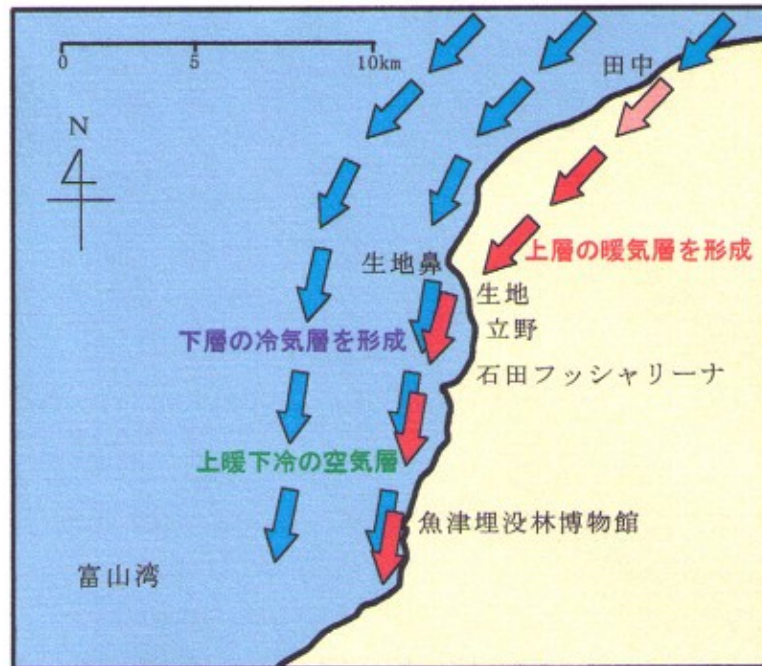
以上の結果から我々はこれまでに蓄積してきたデータをふまえ、以下のモデルを考えた。

<蜃気楼が発生する過程>

- ① 蜃気楼の発生日は、気圧傾度が緩やかで風が弱く海風が卓越している。また、風向は田中では北東よりであるが、富山湾東部沿岸ではその地形的な特徴から風は陸地側に力を受け、北よりに進行方向を変える。
- ② 海風はその特徴から沖合、数10km以上離れた日本海より吹く。そのため、海面水温の影響を受け、陸地に比べ日中の温度変化は小さく、水温に近い状態で緩やかに推移する。また、鉛直方向には、ほぼ等温状態となっている。
- ③ 田中では、安定した北東よりの海風が早い時間から吹いており、その空気は生地方向にかけて陸上を通過するため、日射による地熱の影響を受け、気温が大きく上昇する。
- ④ 暖気となった空気は生地から再び海上へと移流する。その際、暖気を形成している空気層の高さ、海面の摩擦抵抗による上部下部の風速の違い、空気密度の相異等により、暖気は陸地を通過しない海上の空気上部へと移流する。
- ⑤ 上暖下冷の構造を持った空気層が形成され、海岸を沿うように吹く。
- ⑥ 富山湾東部沿岸地域の海上に上暖下冷の空気層が維持され、その境界層の密度変化により

光が屈折し蜃気楼が発生する。

以上をまとめ図7に上暖下冷の空気層が形成される様子を示す。



【図7】上暖下冷の空気層が形成されるモデル（矢印は風向の変化を示す）

## 5 まとめ

### (1) 暖気の形成過程

- ①田中を通ってきた風は蜃気楼発生日の方が出ない日に比べ午後の温度上昇が大きい。
- ②前日も天気がよく地面への蓄熱があると予想される。
- ③陸地で暖まった空気は海上の上層（8～14m）に流れ込む。
- ④連続した上層への暖気が移流するとともに下層には異なる風向の水温に近い空気が流れ込み、このことによって蜃気楼が持続されることが示唆された。

### (2) 風向の変化

- ①蜃気楼発生日は北よりの風となる。この傾向は昨年度の解析とほぼ似ている。
- 以上の結果から、今年度は暖気移流の形成過程とその維持について明らかとなり、蜃気楼の発生理由のかなりな部分が解明された。

## 6 今後の課題

### (1) さらなるデータの蓄積

今年は蜃気楼があまり出ない年であり、全体にわたって観測データを増やしたい。とりわけ暖気と冷気が持続するときの様子について石田フィッシャリーナでは、今年と同じようにポールを立てて観測をしたい。

### (2) 熱収支の計算

地形的な特徴もふまえた熱収支の計算をし、実際と比較検討したい（進行中）。

### (3) 蜃気楼発生モデルの検証

これまでの観測データからは、暖気と冷気の形成過程がほぼ解明できた。今後は生地付近の海上で上暖下冷の空気層が形成、維持されることを、観測や数値計算から詳細に検証したい。

## 7 謝辞

魚津市と魚津市教育委員会をはじめ、多くの方の協力を心より感謝する。

### <参考文献>

- 1) 木下正博、市瀬和義、富山湾における上位蜃気楼の発生理由—気温の鉛直分布が示す新たな事実—、日本気象学会誌「天気」、Vol. 49, No. 1 (2002) 57-66.
- 2) 市瀬和義、富山湾の蜃気楼における発生理由の解明、平成13年度魚津市委託研究報告書、(2001) 1-18.
- 3) 魚津埋没林博物館ホームページ、<http://www.city.uozu.toyama.jp/nekkolnd/>