

研 究 報 告 書

富山湾の上位蜃気楼における 発生理由の解明



入善町横山に設置した定点カメラ装置

2007年

富山県総合教育センター 木下 正博

富山大学人間発達科学部 市瀬 和義

富山湾の上位蜃気楼における発生理由の解明

木下正博（富山県総合教育センター）、市瀬和義（富山大学）

1. はじめに

(1) 富山湾における蜃気楼

蜃気楼は空気の密度変化によって局地的に発生する光学現象である。空気の密度は温度と密接に関係しており、温度が上がれば密度が小さくなり、温度が下がれば密度は大きくなる。日本では、富山県魚津市が「蜃気楼の見える街」として有名である。

蜃気楼は大きく分類すると、遠方の景色が上方に伸びたり反転して見える上位蜃気楼と、下方に反転して見える下位蜃気楼の2種類がある。上位蜃気楼の場合、空気層は上が暖かで下が冷たい、いわゆる上暖下冷の温度構造を示し、下位蜃気楼はその逆の上冷下暖となる。

富山湾の中でもとりわけ、東部沿岸に多く発生する上位蜃気楼は全国的にも珍しく、毎年4～6月にかけて10数回程度観察される。一方、下位蜃気楼は全国各地で一年を通じて比較的頻繁に発生する現象である。

本研究では、富山湾における上位蜃気楼(以後、蜃気楼と記す)の発生理由に焦点を当てる。

(2) 雪解け水説から暖気移流説へ

上位蜃気楼の発生理由はこれまで「春になると立山連峰の冷たい雪解け水が一気に河川や地下浸透によって富山湾に流れ込み海水を冷やし、海面付近の空気が冷やされ上暖下冷の気層が形成されて発生する」といういわゆる「雪解け水説」が80年以上の長きにわたり信じられてきた¹⁾。しかし、蜃気楼の発生時期の海面水温は比較的暖かい傾向にあり、熱収支の計算からは海面水温では十分な冷却効果がないことが分かった²⁾。

そこで我々は、1999年より富山湾東部沿岸域で海上及び海岸付近において気温の鉛直分布をはじめとする気象観測を実施した。その結果、蜃気楼の発生時には特に冷氣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移流して発生する現象であることを見出し、1999年には「暖気移流説」³⁾、2003年には「上位蜃気楼の持続モデル」⁴⁾を発表した。

(3) これまでの研究経過

我々は、「暖気移流説」を確かめるため、これまでに以下の様々な方法で観測や計算を行い、多方面からの検討を重ねてきた。

- a) 海上気温の鉛直分布の観測
- b) 蜃気楼の写真観測
- c) 気温の鉛直分布によるシミュレーションと蜃気楼像との比較
- d) 蜃気楼発生装置による暖気形成のモデル化
- e) 富山湾以外で発生する上位蜃気楼との比較
- f) 沿岸での気象観測(風向・風速・気温・海水温)

g) 熱収支の計算

h) 定点カメラによる観測

これまでの研究からは、蜃気楼が発生した多くの日において、入善町から黒部市にかけての陸地の影響による暖気移流を確認することができた。また、数年にわたる検証からは、暖気が富山湾を上昇しながら移流する様子を捉えることができた。これによって、蜃気楼の発生時における、目には見えない富山湾の気層の様子が、少しずつではあるが解明されてきた。

次に、2006年の研究では、一部の発生日において既に日本海上に暖下冷の空気層が形成され、その空気層が富山湾へと移流し、蜃気楼が発生する可能性を指摘した⁵⁾。そして、富山湾の蜃気楼の発生理由の更なる解明には、入善より西側での観測の必要性を示唆した。

2. 2007年の研究視点

入善沖の日本海において、どのように上暖下冷の空気層が形成されるのか。また、富山湾に発生する蜃気楼との関連性について検証するため、2007年は以下の観測・検討を行った。

(1) 定点カメラを用いて入善町横山から宮崎漁港・親不知方向を観測

入善町横山にある国土交通省の監視カメラ用の電源供給用電柱に定点カメラを設置し、宮崎漁港から新潟県親不知方向にかけて画像を記録し、実際にどの程度蜃気楼が発生するのかを観測する。

(2) 気象データとの比較

入善町横山及び、黒部市生地に設置した自動気象観測計のデータから、蜃気楼の発生日において暖気が日本海から直接移流する可能性を検討する。また、画像データとの比較を行う。

3. 研究方法

(1) 定点カメラの設置

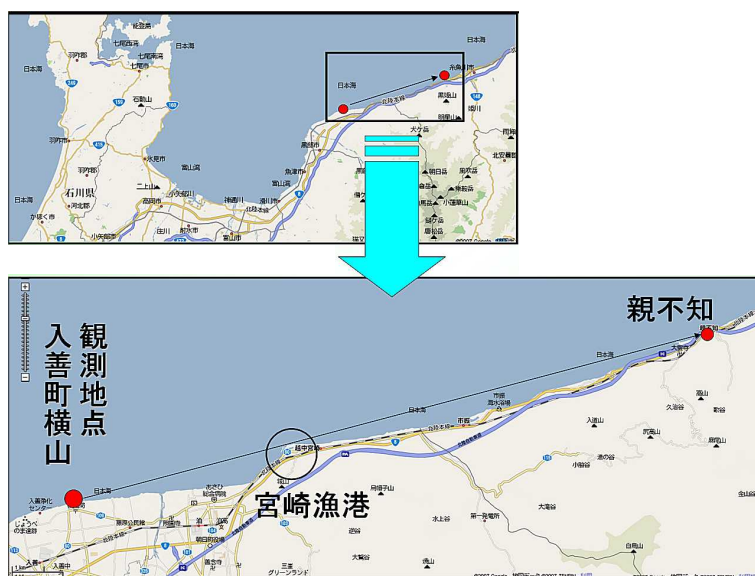
入善町横山にある国土交通省の監視カメラの電源供給用電柱に定点カメラを設置した。定点カメラはスチール製のロッカー内部に備え付け、ロッカーにはガラス窓や雨よけの屋根、電源の引き込みパイプ等を取り付け、電柱下の空き地にワイヤーで固定した。

第1図に入善町横山の位置と観測方向を示す。また、第2図に定点カメラの設置の様子を示す。

設置場所

- ・ 入善町横山の海岸
(北緯36度57分, 東経137度31分)
- ・ 海拔 約 3 m
- ・ 宮崎海岸までの距離 約6.4km
- ・ 親不知までの距離 約19km
- ・ 設置期間

2007年 3月28日～6月30日



第1図 入善町横山の位置と観測方向



第2図 定点カメラの設置とロッカー内部の様子

(2) システムの概要

システムの概要を第3図に示す。

システムの構築は滑川高校に設置したライブカメラの技術を用いた⁶⁾。

- ・ C C Dカメラ ビクセンC004-3M
- ・ レンズ（一眼レフ用 焦点距離560mm相当）
- ・ ソフトウェア Lclight（フリーソフト）
- ・ 映像は、1分間隔でパソコンに取り込む。
- ・ 作動時間は毎日、8:00～19:30

4. 観測の結果

(1) 2007年の蜃気楼と気象データ

定点カメラによる観測及び、気象観測は、2007年3月28日～2007年6月30日に行った。この期間における魚津での蜃気楼の発生日を表1に示す。B～Eは発生の規模を示す。発生規模の詳細は埋没林博物館のHP⁸⁾を参照。

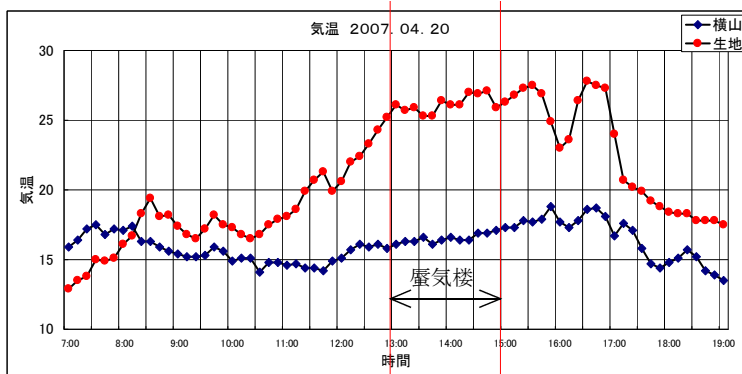
次に、これら蜃気楼の発生日のうち、第5図に4月20日、第6図に4月30日、第7図に5月22日の横山、生地における気温と風向を示す。風向のグラフは、Nを0、Eを90、Wを-90、Sを180(-180)と表記した。気温は[°C]を示す。

第5図の4月20日においては、魚津では13:00～15:00頃にかけて蜃気楼を観測している。横山での風は、9:00～16:00頃まではほぼENEの安定した風が吹いている。この風はほぼ海岸に沿って新潟方向から吹く風である。また、生地ほかの風向からは、蜃気楼の発生時には富山湾へと移流する風は、ほぼ海岸に沿って吹くと考えられる。蜃気楼の発生時の風速は生地では2m/s～3m/s、横山では4m/s～5m/sであった。以上のように、横山と生地の気象データの比較からは、2007年における多くの蜃気楼の発生日において、入善から黒部にかけての陸地の影響による富山湾への暖気移流が認められた。横山での蜃気楼の発生時における風の特徴は、風向はほぼENEで安定しており、また風速は1m/s～4m/sの穏やかな風である。

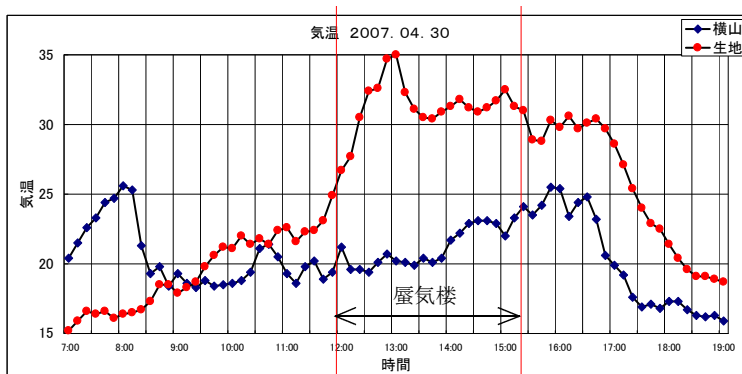
次に第6図における4月30日は、魚津では12:00～15:20頃にかけて蜃気楼を観測している。横山の風は魚津で蜃気楼が発生する12:00ころから安定したENEの風が吹いている。ここで注目すべき点は、横山では14:00～17:00頃

表1 蜃気楼の発生日(魚津埋没林博物館発表)

3月(0回)	4月(3回)	5月(6回)	6月(1回)	合計
	7日(C) 20日(C) 30日(C)	3日(E) 14日(E) 16日(D)	21日(B) 22日(B) 23日(E)	12日(C) 10回

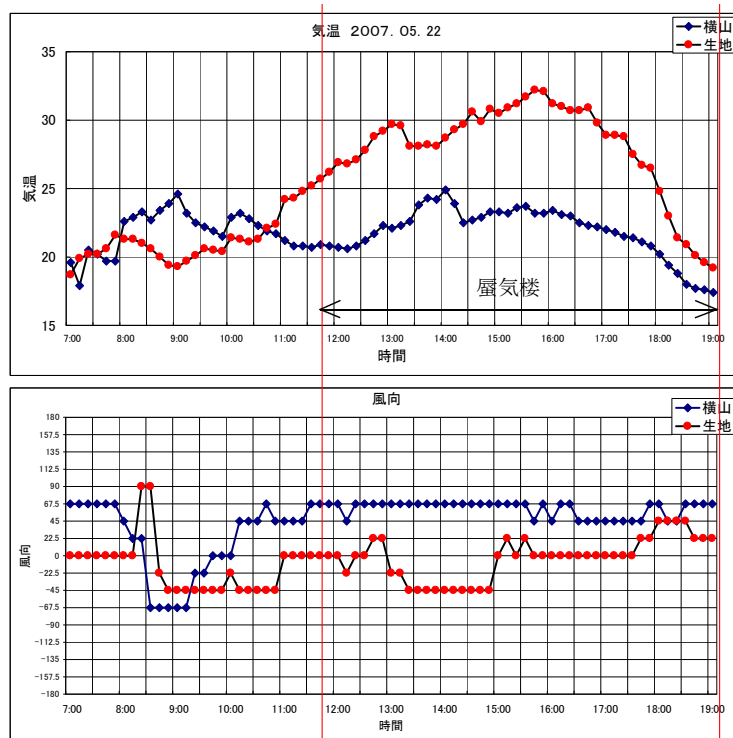


第5図 2007年4月20日の気温と風向



第6図 2007年4月30日の気温と風向

にかけて、それ以前より約3～5℃昇温した風がほぼ海岸に沿って吹いていることである。特に15:00～16:00は、Eよりの風を観測しており、同時間帯には、横山で蜃気楼を観測している。また、このように横山で昇温する傾向は一部の時間帯ではあるが、他の蜃気楼発生日の5月14日、5月21日、5月22日、5月23日、6月12日にも見られた。これらのうち、第7図における5月22日は、魚津では11:50～19:20頃にかけて蜃気楼を観測している。この日においても横山では14:00頃にかけて昇温した風がほぼ海岸に沿って吹いている。4月30日や5月22日のように、横山で昇温した風が吹くことと、蜃気楼との関係については、第5章で詳細に考察したい。

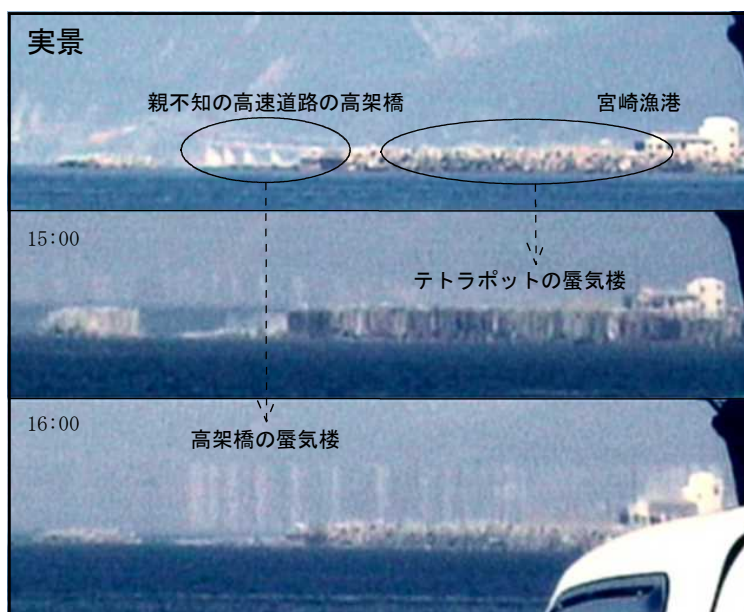


第7図 2007年5月22日の気温と風向

(2) 2007年の蜃気楼と定点カメラ

入善町横山に設置した定点カメラでは、4月30日(14:30～16:50)において宮崎漁港や親不知の高架橋(高速道路)が大きく縦に変化する蜃気楼を観測した。同地での蜃気楼はこれまで観測例が無く、大きな成果である。2007年3月28日～6月30日の観測日において、横山から宮崎・親不知方向に蜃気楼を捉えたのは僅かにこの日だけであった。

第8図に横山からの実景と蜃気楼の画像を示す。なお、5月14日、5月21日、5月22日、5月23日、6月12日においても同地で宮崎・親不知方向に蜃気楼とまでは言えないものの、像の僅かな変化を観測した。



第8図 宮崎漁港、親不知方向に発生した蜃気楼 (2007/04/30)

5. 考察 — 入善町横山で観測した暖気はどこから吹いてきたのか —

(1) 気象データと定点カメラの比較

2007年は、魚津埋没林博物館で記録した蜃気楼発生日の内、計10回の気象データを得ることができた。これらの気象データからは、計8回の蜃気楼の発生日において、蜃気楼が発生する時間帯に

において入善町から黒部市にかけての陸地の影響によると考えられる暖気移流を観測した。

次に、2007年4月30日に発生した、親不知方向の蜃気楼について考察してみる。この日の定点カメラの画像からは、14:30～16:50頃にかけて宮崎漁港や親不知方向に蜃気楼が発生していることが分かった。一方、気象データからは、14:30～16:30にかけて昇温した風が横山に吹いていた。両者の時間帯はほぼ一致している。このことから、横山で観測した蜃気楼は暖気移流によって発生した可能性があると考えられる。

次に、この昇温した空気はどこから吹いてくるのかを考察したい。気象のデータからは、15:00～16:00にかけて風向がEになっている。このことは、親不知から宮崎にかけての陸地を通過してきた空気が暖気を形成している可能性を示唆している。ただし、宮崎や親不知方向の詳細な気象データがないため、これ以上の言及は避けることにする。

昨年の研究では、入善沖の日本海において、既に上暖下冷の空気層が形成され富山湾へと移流する可能性を提案した。2007年の観測からは、入善沖の日本海において既に上暖下冷の空気層が形成されるという仮説の結論は出せなかったものの、入善町横山においても暖気移流が要因と考えられる蜃気楼が確認できることが明らかになった。更なる詳細については、次年度以降の研究としたい。

(2) GMTを用いた風の解析

GMT(The Generic Mapping Tools)は、ハワイ大学で作られた地図やグラフを描くソフトウェアである。このソフトを用いて、アメダスのデータから蜃気楼の発生時における風の特徴について考察してみる。なお、この解析には栃木県気象予報士会の大門禎広氏に協力をいただいた。

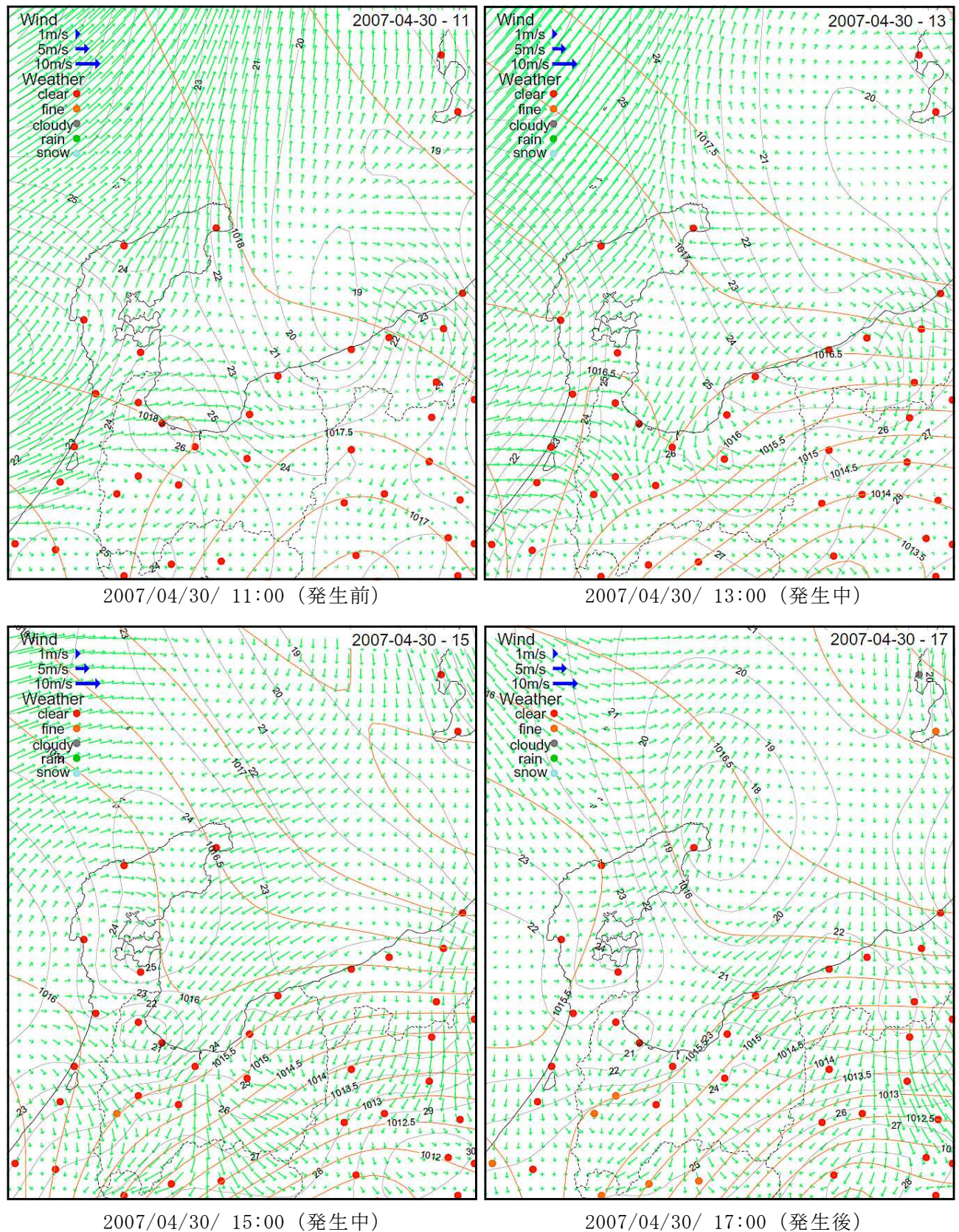
蜃気楼の発生日として第9図に2007年4月30日、第10図に2007年5月22日の様子を示す。これら図中の風向・風速は全て、アメダスの風のデータを補完しメッシュ状に配置した結果である。このため、アメダスの観測地付近では高い精度が期待できるものの、それ以外の場所、特にアメダスのない海上においては精度を期待することができない。しかし、富山湾から上越市の沖合付近にかけての海上は、能登や佐渡に設置されているアメダスを考慮すると、アメダスが海を囲むように設置されていることから、この域内の海上においては全体の傾向を見ることができると考えた。

まず、第9図の2007年4月30日の解析図からは、蜃気楼の発生中は新潟県能生町から上越市にかけての沖合、10km～20km程度から富山湾に向かってENEよりの穏やかな風が吹いていることが分かる。また、富山湾へと吹いた風は沿岸に沿うように吹いている。次に、第10図の2007年5月22日の解析図においても、同様の傾向を見ることができる。これらの結果について、日本海から入善町へと吹いた海風が富山湾へと移流する様子は、これまで我々が観測し、蓄積してきた風の気象データともよく合致する。併せて、入善町から黒部市の陸地の影響による暖気移流についてもこれらの解析図から、海風の一部が陸地を通過する様子を推測することができる。

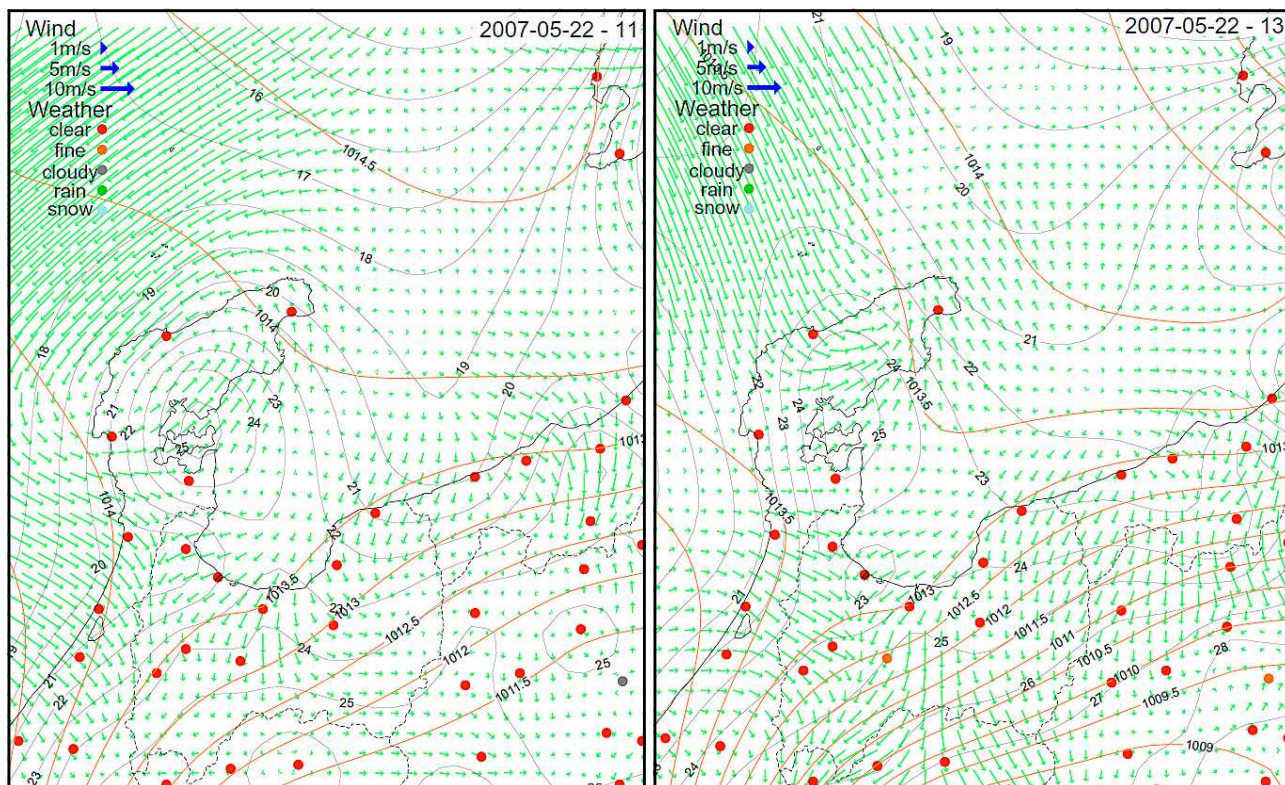
このGMTを用いた風の解析からは、さらに興味深いことが考えられる。それは、蜃気楼の発生時の海陸風循環を見ると、海風がかなり陸地に近いところで発生している可能性があるということである。その距離は、近いところで能生町の沖合約10km程度から吹いていることが予想される。そこで一つの可能性として、局地的に発生する小規模な海陸風循環が、陸地の暖気を直接海上に運び、その暖気が海風によって富山湾へと移流するのではないかと考えられる。ただし、推論の域を出ないので、検証は次年度以降の課題としたい。

次に、2007年4月30日に横山から親不知方向にかけての大きな蜃気楼を観測した16:00の風の様子

を第11図に示す。第11図からは、能生町から朝日町にかけて、ほぼ海岸線に沿った風が吹いていることが分かる。入善町横山での実際の気象観測からは、横山ではEよりの風が吹いており、親不知から宮崎海岸にかけて発生した蜃気楼は、この陸地による暖気移流の可能性が強いと考えられる。

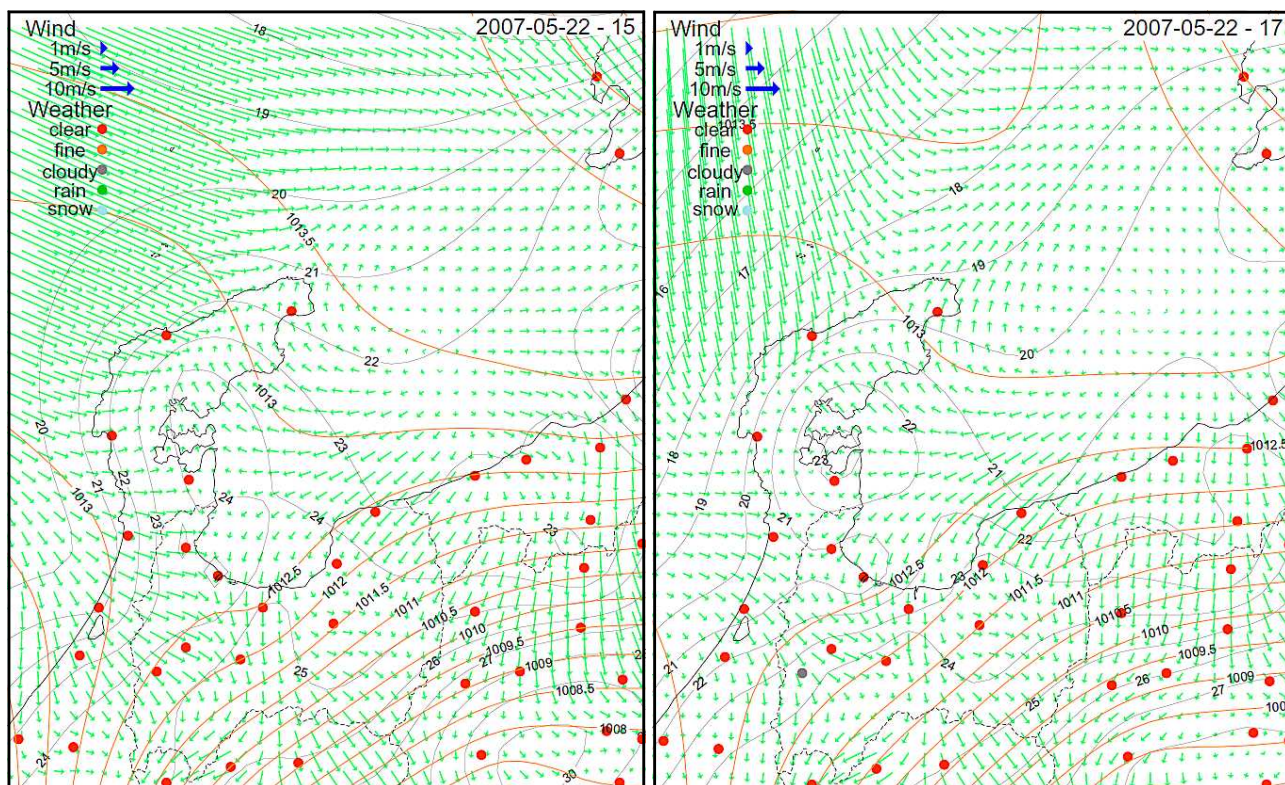


第 9 図 2007年4月30日のGMT解析図



2007/05/22/ 11:00 (発生前)

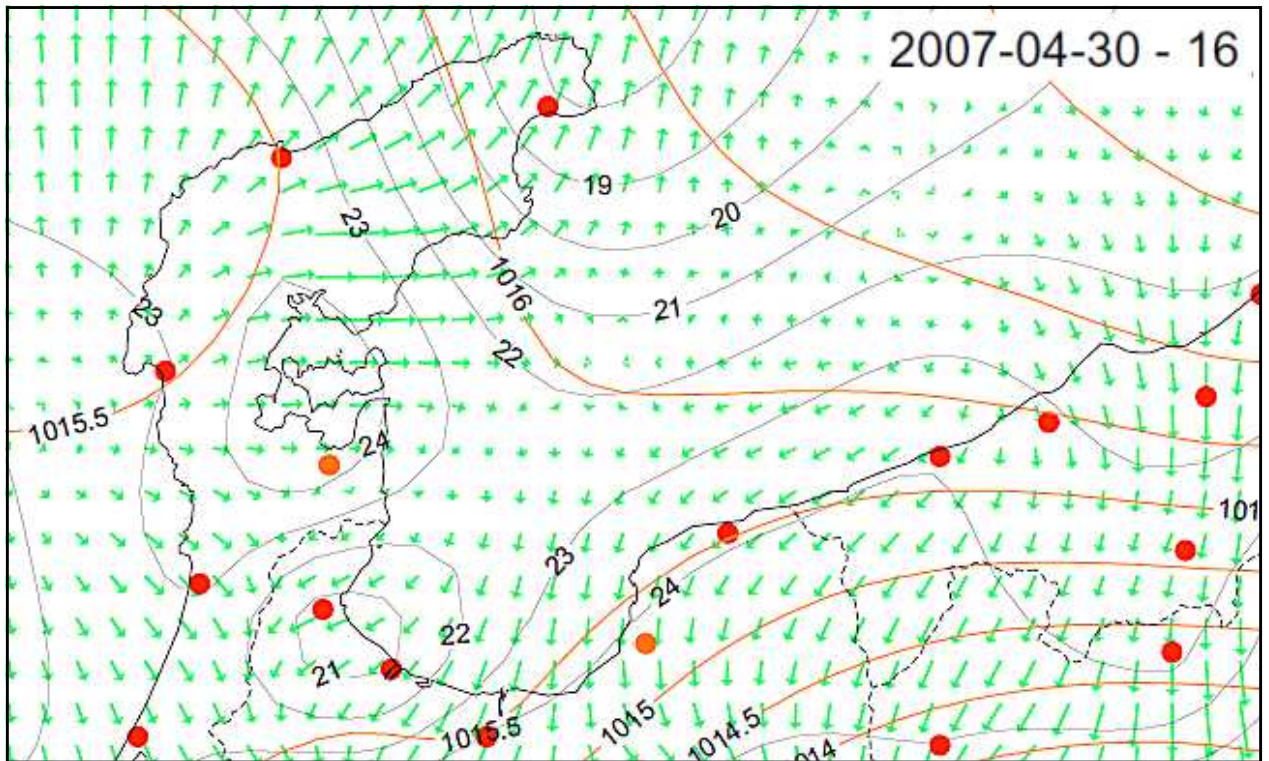
2007/05/22/ 13:00 (発生中)



2007/05/22/ 15:00 (発生中)

2007/05/22/ 17:00 (発生中)

第10図 2007年5月22日のGMT解析図



第11図 2007年4月30日 16:00のGMT解析図

6. まとめ

2007年の研究から、以下のことを推測した。

- ・ 富山湾東部沿岸に発生する多くの蜃気楼は、入善から黒部にかけての陸地の影響による暖気移流で説明できる。
- ・ 入善町横山から宮崎・親不知方向に発生した4月30日の蜃気楼は、Eよりの風によって新潟方向から運ばれた陸地の暖気移流が一つの成因であると考えられる。
- ・ GMTによる解析の結果、蜃気楼の発生時の海陸風循環はかなり陸地に近いところで発生しており、一部の発生日においては、新潟県能生町付近の沖約10数kmより吹く可能性がある。また、陸地に近いところで吹く海陸風循環の規模からは、新潟県能生町や上越市付近の陸地の暖気が直接海上に運ばれ、その暖気が富山湾へと移流することで蜃気楼が発生する可能性がある。

7. 今後の課題

(1) 定点カメラの活用とさらなる気象データの収集

2007年は、国土交通省の協力を得て入善町横山地内にはじめて蜃気楼観測用の定点カメラを設置した。この結果、これまで疑問の多かった日本海側での観測を行うことができた。入善町横山から宮崎・親不知方向の蜃気楼を捉えられたことは、これまでの研究の中でも非常に大きな成果である。ただし、今年は4月30日が唯一の蜃気楼の発生日であったため、次年度以降も観測を継続して、画像と気象データの蓄積に努めたい。

(2) 富山湾から新潟沖にかけて海風の観測

GMTを用いた解析を試みた結果、海陸風循環はこれまで我々が考えていた規模よりもかなり狭い範囲で生じている可能性が示唆された。今後は実際に海上での観測を実施し、海風の発生域の特定や、そこでの気温変化について調査したい。また、他の解析方法についても研究を進めたい。

(3) 富山方面

これまでの観測方法を発展させ、入善沖の日本海から富山市方向への気層の流れを統一的に捉える観測体勢を確立していかなければならない。

(4) 地域連携

魚津の蜃気楼を海上から見るために船を出すことや、大学が主体となって、富山の自然現象をリアルタイムで見せる動きがある。蜃気楼の発生原因や蜃気楼研究の最前線の紹介など、自治体や市民、学校が協力して蜃気楼研究をさらに進める必要がある。また将来、地域の担い手となる子どもたちへの普及・啓蒙活動を活発に行っていく必要性がある。

8. 謝辞

国土交通省北陸地方整備局の黒部工事事務所には観測柱として横山監視カメラ柱横の電源引き込み用電柱の使用を快諾下さり、さらには北陸電力(株)魚津支社のご好意によって生地の電柱を使用させていただき、ここにお礼申し上げます。また、横山の柱への機器設置には岡本電気(有)さんにお世話になりました。GMTをもちいた解析には栃木県気象予報士会の大門禎広氏に協力していただきました。

総じて本研究は、たくさんの方々にお世話になりました。ここに重ねてお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 大森虎之助、藤原咲平、田口克敏、富山湾の蜃気楼、富山県伏木測候所、(1919) 1-153.
- 2) 木下正博、富山湾における蜃気楼の研究とその教材化、平成12年度富山大学大学院教育学研究科修士論文、(2001) 1-192.
- 3) 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.
- 4) 市瀬和義、木下正博、研究報告書－富山湾の蜃気楼における発生理由の解明、(2003) 1-8.
- 5) 木下正博、市瀬和義、研究報告書－富山湾の蜃気楼における発生理由の解明、(2006) 1-17.
- 6) 木下正博、市瀬和義、研究報告書－富山湾の蜃気楼における発生理由の解明、(2004) 1-12.
- 7) 木下正博、蜃気楼ライブカメラホームページ、<http://www.tym.ed.jp/sc325/mirage/index.htm>
- 8) 魚津埋没林博物館ホームページ、<http://www.city.uzo.toyama.jp/nekkolnd/>