

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



富山県立滑川高等学校の校舎3階に取り付けたライブカメラ

2004年

富山県立滑川高等学校

木下 正博

富山大学教育学部

市瀬 和義

富山湾の上位蜃気楼における発生理由の解明

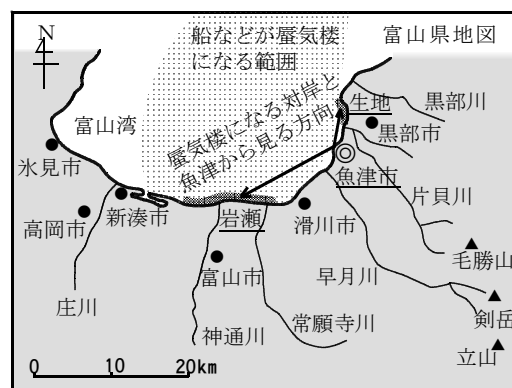
木下正博（滑川高等学校）、市瀬和義（富山大学）

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、第1図に示すように、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。

上位蜃気楼は、条件がそろわなければ見ることができない現象であり、富山湾東部沿岸に発生する上位蜃気楼は全国的にも珍しく、毎年4～6月に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。



第1図 魚津市の位置と主な蜃気楼の発生域
■: 魚津から蜃気楼が多く見られる範囲

2. 研究経過

(1) 雪解け水説から暖気移流説へ

上位蜃気楼(以後、蜃気楼と記す)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、富山県水産試験場が行っている海面水温分布調査や、人工衛星の海面水温分布図からは、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⁴⁾。また、近年の調査・研究により、琵琶湖、小樽湾、伊勢湾、猪苗代湖等でも魚津と同等な蜃気楼が観測されている²⁾。これらのことから、水温の冷却を発生原因とするこれまでの説には大きな疑問が生じていた。

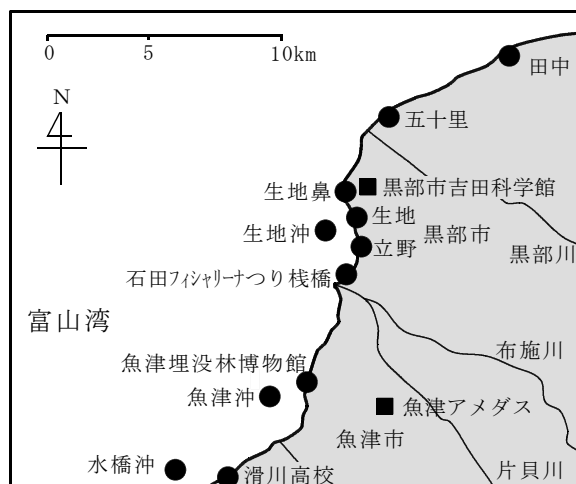
そこで我々は、1999年より富山湾東部沿岸域で海上及び海岸付近において気温の鉛直分布をはじめとする気象観測を実施した³⁾。その結果、蜃気楼の発生時には特に冷氣層が海面付近に形成されるわけではなく、暖かい大気が海上に移流して発生する現象であることを見出し、1999年には「暖気移流説」⁴⁾、2003年には「上位蜃気楼の持続モデル」⁷⁾を発表した。

(2) 研究・観測の方法

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) 沿岸での気象観測

観測は1999～2003年に富山湾東部沿岸域において気象観測を実施した。そして、国土交通省や気象庁、各自治体が行っている気象観測データと比較・検討した。本研究において観測を行った地点を第2図に示し、各年に行った気象観測の方法を以下に記す。気象観測は4～6月を通して行った。



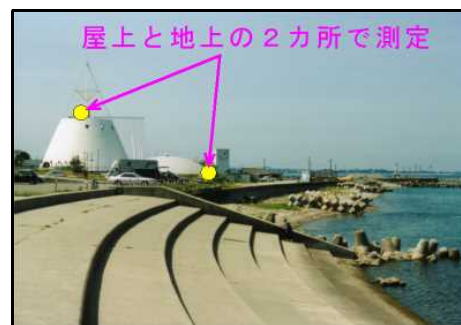
第2図 気象観測を行った地点(●印)

1999年：石田フッシャリーナつり棧橋(海岸から約150m沖に位置)において、ゴム製バルーンをあげ、気温の鉛直分布を観測³⁾(第3図)。



第3図 石田フッシャリーナつり棧橋での観測の様子

2000年：魚津埋没林博物館(ほぼ海岸に位置)敷地内の2ヶ所、地上1.5m(海拔5m)と施設屋上(海拔25m)に自動気象観測計を設置³⁾。2002年まで継続。(第4図)



第4図 魚津埋没林博物館での観測

2001年：生地沖，魚津沖，水橋沖(いずれも海岸より約1km沖の海上)の定置網の浮きに気象観測用バルーンを係留し、気温の鉛直分布を観測⁵⁾。

2002年まで継続。(第5図)



第5図 生地沖，魚津沖，水橋沖の定置網の浮きに気象観測用バルーンを係留

2002年：石田フィッシャリーナつり棧橋に高さ20m(海拔23m)のポールを設置し、風向・風速(海拔20mと3m)と気温(0, 1.5, 3, 5, 8, 11, 14, 17, 20, 23m)を観測。田中，生地鼻，立野に自動気温観測計生地，滑川高校に自動気象観測計(気温，風向，風速)を設置⁶⁾。2004年においても継続。(第6図)



第6図 石田フィッシャリーナつり棧橋(左)と各地点での観測

2003年：海風の回り込みを詳細に検証するため五十里，生地鼻に自動気象観測計を増設⁷⁾。
2004年においても継続。

(3) 2003年までの研究成果

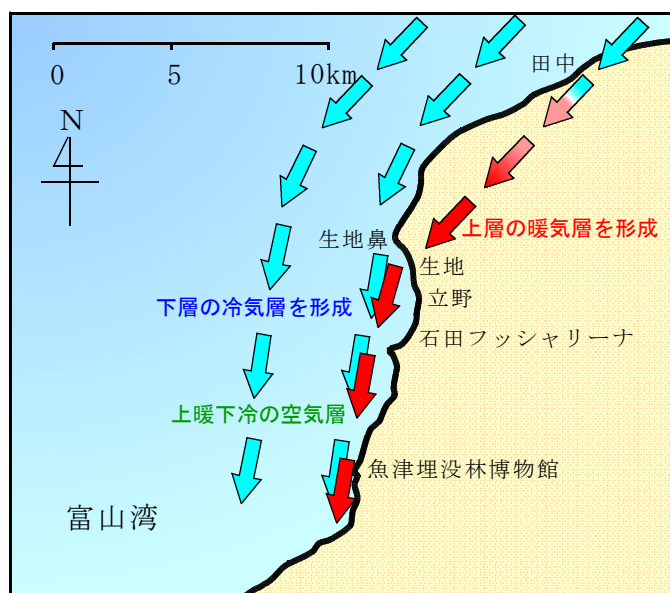
① 暖気移流について

- 蜃気楼発生日の前日は天気がよく，地面への蓄熱があることが予想される。
- 田中から陸上を通過してきた風は，蜃気楼が発生する日の方が，出ない日に比べ，午後の気温の上昇が大きい。
- 日本海から吹く海風の一部が田中（入善町）から生地の陸地を通過することで暖気となる。
- この暖気が黒部の海上に移流する。
- 陸地で暖まった空気は海上の上層（8～14m）に流れ込む。
- 暖気は富山方面に向かって吹き，次第に冷気と混合されていく。

② 蜃気楼の持続モデルについて

—冷気層は陸地を通過しない海風⁷⁾—

2003年の石田フィッシャリーナの観測からは，暖気は石田において海拔10数m以上で吹き，さらに下(3m)の冷気層では上(14m)とは異なる風向であった。このことから冷気層は，陸上を通過しない空気であることが推測された。この冷気層の気温は田中，五十里で観測される気温に近く，海上にある空気がそのまま冷気層を形成していると考えられる。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連続して吹き，生地鼻の沖で混合せずに上に暖気，下に冷気となる必要がある。第7図に上暖下冷の空気層が形成され維持する様子を示す。



第7図 上暖下冷の空気層が形成され維持する様子

3. 2004年の研究視点

暖気移流と持続モデルをさらに検証するため、2004年は以下の2点に絞って観測，研究を行った。

(1) 暖気移流の検証

富山県立滑川高等学校に蜃気楼観測用の定点カメラを設置し，蜃気楼の発生時に石田フッシャリーナで観測される暖気移流と，蜃気楼像の変化について詳細な検討を行う。

(2) 蜃気楼の持続モデルの検証

富山湾の東部沿岸，とりわけ生地鼻周辺（海風が富山湾に入る地点）における，暖気（上層）と冷氣（下層）の風向・風速の相違及び海風の回り込みを詳細に観測する。

4. 研究方法

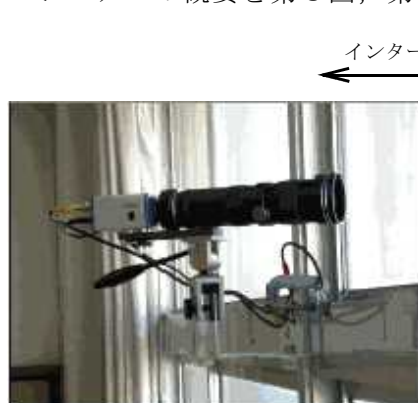
(1) 定点カメラによる蜃気楼の観測

我々はこれまで，蜃気楼発生の有無や規模，時間を知る方法として，主に魚津埋没林博物館が発表する資料を利用してきた。また，画像の確認は，魚津蜃気楼研究会等に写真の協力をお願いしてきた。しかし，蜃気楼の確認は人の目に頼る部分が多く，そのため発生の有無や規模，始まりから終わりまでの時間などについては曖昧な部分も多くあり，以前より客観的な判断ができる観測システムの構築が待たれていた。

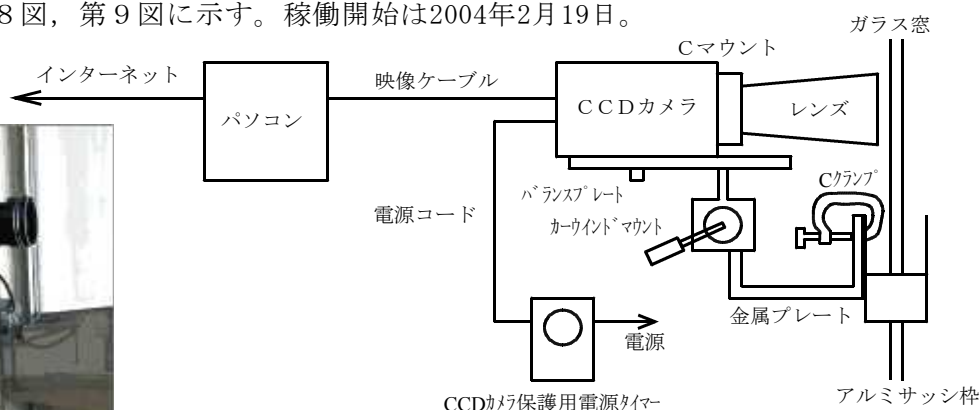
そこで，本年は蜃気楼を定点カメラで観測し，画像データとして発生の有無，規模，時間などを客観的に判断できる定点カメラ観測システムを構築した。そして，カメラによる画像データと石田フッシャリーナにおける気温の鉛直分布を比較し，移流する暖気と蜃気楼がどのような関係にあるかを詳細に検証した。なお，定点カメラは外部からでも常時観測が可能なようにインターネット回線を利用したライブカメラとした⁸⁾。以下にシステムの概要と設置場所を示す。

① システムの概要

システムの概要を第8図，第9図に示す。稼働開始は2004年2月19日。



第8図 ライブカメラの設置状況

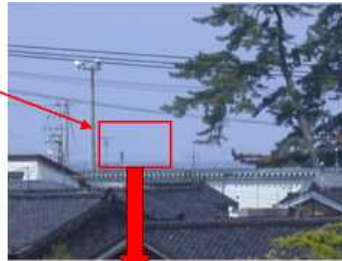


第9図 ライブカメラのシステム構成

- ・ CCDカメラ ビクセンC004-3M
- ・ レンズ（一眼レフ用）420mm VARI8000S
（レンズは420mmだが，CCDが1/3サイズなので映像は約7倍の3000mm相当になる）
- ・ カーウィンドマウント
- ・ バランスプレート
- ・ Cマウントアダプター
- ・ パソコン PenIII (700MHz) アナログキャプチャー機能付
- ・ ソフトウェア Lclight (フリーソフト) —キャプチャーとホームページへアップ
Vix (フリーソフト) —静止画の連続表示
MGen (フリーソフト) —静止画をつないだ動画ファイルの作成

② ライブカメラの設置

これまで蜃気楼は高い場所からは観測できないという説が一般的であったが、我々の研究では、滑川や富山では冷氣層は15～20m付近まで達し、ある程度の高さからでも蜃気楼が十分に観測できることが推測されている。そこで、ライブカメラの設置場所は、電源設備やインターネット環境が整っている富山県立滑川高等学校とし、西館3階の特別教室の窓枠(床から約2m)に取り付けた。ライブカメラの海拔は約13.7mである。第10図に設置場所の様子、第11図に観測する方向を示す。



第10図 ライブカメラの設置場所の様子



第11図 観測する方向

補足ではあるが、映像ケーブル(約20m)は信号のロスが少ない同軸ケーブルを使用(TV電波用)した。調査では、同軸ケーブルは数100mにわたり映像信号をロスなく伝搬できることが分かっている。カメラの映像は、約17.1km離れた黒部市生地を捉えている。倍率は約60倍(約3000mm相当)あり、1分間隔で自動に映像(サイズ:640×480)をホームページに転送している。カメラの稼働時間は8:00～19:00とした。詳細は以下のURLを参照⁹⁾。

<http://www014.upp.so-net.ne.jp/kino/index.htm>

なお、本ライブカメラについては、2003年の蜃気楼交流会(2003.6.1開催)での、福島県会津若松市星弘之氏の発表を参考にし、システムの構築には星氏より数々の助言を頂きながら設置した。

(2) 気象観測

2004年は、前年までの気象観測を継続し、とりわけ生地鼻周辺(海風が富山湾に入る地点)における、暖気(上層)と冷氣(下層)の風向・風速の相違及び海風の回り込みをの解明を目的に観測を実施した。

① 田中～生地における気象観測網

a) 五十里(入善町)と生地鼻(黒部市)の国土交通省の監視カメラに、ウエザーステーションを設置(ともに海拔約14m)させていただき、海岸べりの風の回り込みを詳細に観測した。

② 石田フッシャリーナにおける気象観測の継続

a) 昨年同様、黒部市およびくろべ漁業協同組合の協力を得て、釣り桟橋にポール(23m)を設置させていただいた。詳細は2002年の報告書⁶⁾に記してあるので本報では説明を省略する。

b) 石田では、暖気、冷氣の風向・風速及び気温の鉛直分布観測を行った。設置は(株)堀江商会の皆さんにお願いした。

③ 田中-魚津-水橋にかけての気象観測

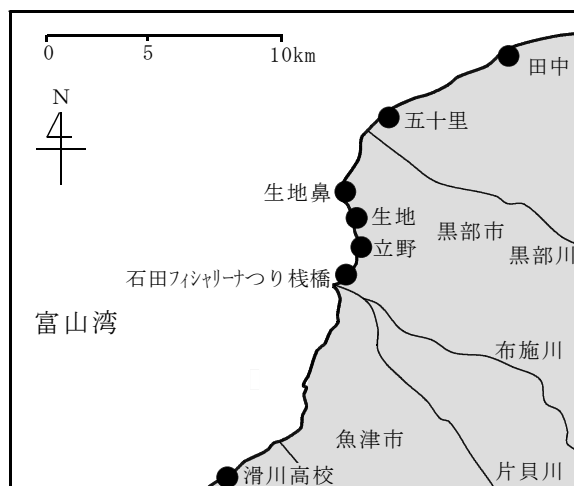
昨年同様に実施。監視カメラ、電柱への設置は北陸電力(株)魚津支社の皆さんに全面的にお世話になった。

④ 観測地点

各地点の気象観測の位置を第12図に、設置場所、観測内容の詳細を表1に示す。

⑤ 観測及び設置の方法

各観測地点で使用した機器、設置方法、データの回収については2003年と同様であるので略す⁷⁾。



第12図 2004年の主な観測地点(●印)

表1 観測地点と測定内容 ◎我々が設置、データ回収 ○データ提供

地 点	気温 (高さは海拔)	設置柱, 場所	風 速	風 向
田中	◎ 14 m	国土交通省観測用電柱	○	○
五十里	◎ 14 m	国土交通省監視カメラ柱	◎	◎
生地鼻	◎ 14 m	国土交通省監視カメラ柱	◎	◎
生地	◎ 13 m	北陸電力(株)電柱	◎	◎
立野	◎ 14 m	国土交通省監視カメラ柱	—	—
石田フィッシャリーナ	◎ 0, 1.5, 3, 5, 8, 11, 14, 17, 20, 23m	自作支柱	◎	◎
滑川高校	◎ 23.6 m	屋上 (昨年度より設置)	◎	◎

⑥ 作業

機器取付作業一覧を表2に示す。

表2 作業一覧

内容	月日	作業内容	業者	設置期間・備考
石田フィッシャリーナ	4月2～3日	ポール設置	(株)堀江商会	4/2～7/29
	7月29日	撤収		
観測柱	4月19日	風向・風速計温度センサー取付	北陸電力(株)魚津支社, 堀田純一課長ら	4/19～8/5 国土交通省: 田中, 五十里, 生地鼻, 立野 北陸電力(株): 生地
監視カメラ柱電柱	8月5日	撤収		

・その他

石田フィッシャリーナ	4月3日	パソコン(PC)との接続		木下が行う
	4月26日	上部風向風速が非表示		木下が確認
	5月6日	上部風向風速計再設置	(株)堀江商会	
	5月22日	ロガーAに浸水		木下が確認(以後, データ回収不能)
観測柱 監視カメラ柱電柱	4月25日	パソコン(PC)との接続		木下が行う

5. 観測の結果

(1) 観測状況

2004年の魚津埋没林博物館における蜃気楼観測結果を表3に示す。石須らによる埋没林博物館での観測報告によれば、公式には10回観測されている¹⁰⁾。

表3 2004年の魚津埋没林博物館における蜃気楼観測記録

回数	月日	時 間	ランク	発生方向・備考	滑高カメラでの確認
1	3/16	15:00 ～ 15:30	D	黒部市生地およびその沖合い	○
2	3/28	14:15 ～ 16:00	C	富山市～新湊市、氷見	視界不良
3	4/10	10:00 ～ 17:20打切り	C	富山市～新湊市、氷見	○
4	4/21	14:00 ～ 18:45以後	B+	富山市～高岡市、生地沖	○
5	5/02	15:00 ～ 15:30	D	黒部市生地	○
6	5/06	12:20 ～ 不明	C	富山市水橋～新湊市	○
7	5/26	13:50 ～ 16:30	B～A-	富山市水橋～氷見市、能登半島、黒部市生地	○
8	5/28	9:35 ～ 10:05	D	黒部市生地	視界不良
9	6/05	13:30 ～ 15:30	C	富山市水橋～岩瀬、黒部市生地	○
10	6/17	15:00ごろ ～ 16:00ごろ	C	富山市水橋～岩瀬、黒部市生地	○

<ランク> A：肉眼ではっきり識別でき、長時間(約2時間以上)にわたり複数の方向に現れるすばらしい蜃気楼。

B：肉眼ではっきり識別でき、長時間にわたるが方向が限られる。

C：肉眼で識別できるが短時間。または双眼鏡で識別でき、長時間。

D：双眼鏡で識別できるが、短時間。

E：双眼鏡でも識別に経験を要する。

一方、富山県立滑川高等学校に設置したライブカメラによる蜃気楼観測を表4に示す⁹⁾。

表4 2004年の富山県立滑川高等学校のライブカメラにおける蜃気楼観測記録

回数	月日	時 間	ランク等	備 考	埋没林博での確認
1	3/16	14:30 ～ 夕刻まで	—	視界はあまりよくない。建物が平たくなる。	○
2	4/10	12:00 ～ 17:00	—	視界はあまりよくない。	○
3	4/21	10:00 ～ 18:45以後	良	視界は良好。	○
4	4/29	11:20 ～ 13:30	—	視界はあまりよくない。	×
5	4/30	8:20 ～ 9:30	—	視界はあまりよくない。	×
6	5/02	14:00 ～ 16:00	—	視界はあまりよくない。	○
7	5/06	11:00 ～ 16:00	—	本格的な変化は13:30より始まる。	○
8	5/26	13:30 ～ 16:00	良	素晴らしい蜃気楼となる。	○
9	6/05	13:30 ～ 16:00	—	視界はあまりよくない。	○
10	6/17	14:00 ～ 17:00	—	視界は非常に悪い。	○

これらの観測状況から分かることは、同じ黒部市生地方向を魚津と滑川から見た場合、滑川からの方が観測距離が遠くなり、視界が悪い日には対岸の地物をカメラがとらえることができず、表3に示すように蜃気楼を確認できない日があった。また、表4に示すように、魚津では蜃気楼の発生を確認できない日でも、滑川高校のライブカメラが蜃気楼としてとらえている日があった。ただし、これは視界の問題ではなく、明らかに蜃気楼として変化を確認できなかった結果である。次に、発生時間を比較すると、魚津で蜃気楼があらわれる数十分～数時間前から滑川ではすでに変化が見られる場合が多い。これらの原因としては、対象物までの距離が大きく関与していると考えられる。生地～魚津の間で光の屈折が小さな場合でも、距離が長くなると像の変化が大きくなるためである。このことは、両者の蜃気楼の画像比較をするとよく分かる。第13図に魚津と滑川から生地を見た場合の蜃気楼を示す。撮影日は異なるが、両者とも変化が最大級の蜃気楼である。これまでの観測からは、滑川から見た蜃気楼の方が魚津からの場合より、比較的大きな規模で発生することが分かっている。



(魚津から見た蜃気楼－撮影日1999. 5. 22)



(滑川から見た蜃気楼－撮影日2004. 5. 26)

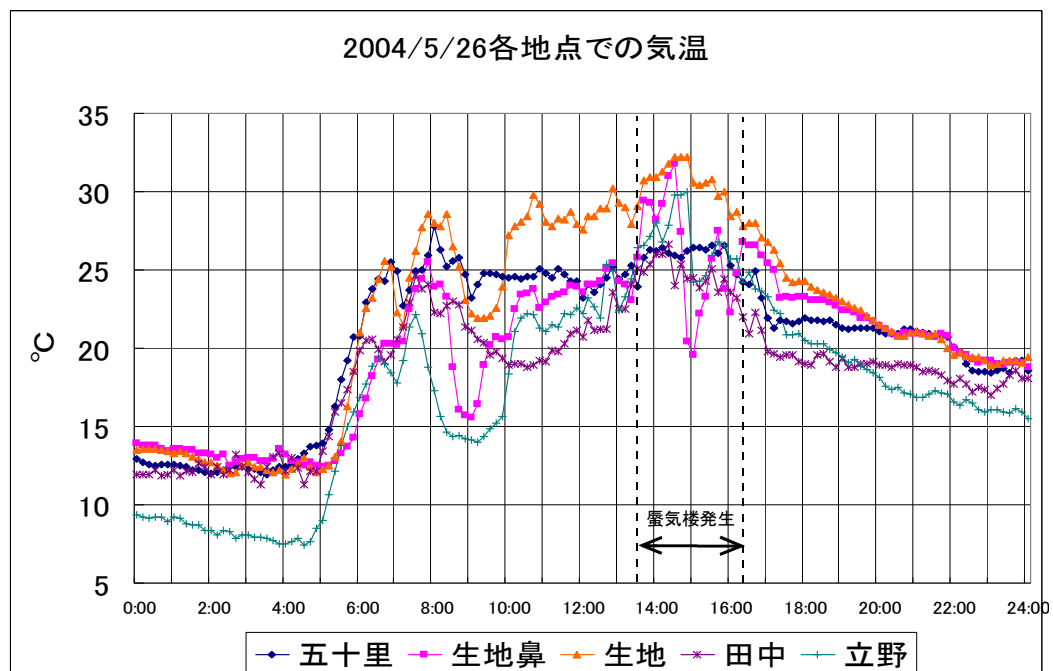
第13図 魚津，滑川から見た生地の蜃気楼（変化の大きさを比較）

(2) 風向

本年の研究視点の一つとして蜃気楼の持続モデルの検証がある。そこで，生地鼻周辺における，暖気（上層）と冷気（下層）の風向・風速の相違及び海風の回り込みを詳細に観測する必要があった。しかし，表2に示すように，本年は機器のトラブルが相次いだ。とりわけ重要視していた石田フッシャリーナにおける上部の風向・風速が欠測する事態となり，（株）堀江商会には早急な対応にあたってもらった。しかし，トラブルの直後に代用品を設置し観測を続行したが，結果的には正確な観測データを得るに至らず，本年は研究視点の一つである蜃気楼の持続モデルの検証を断念せざるを得ない状況となった。

(3) 気温

暖気移流の詳細な検証を行うため，本報では表3，表4のうち，5月の蜃気楼でB～A⁺を記録した5/26（蜃気楼の発生時間13:50～16:30）のデータを解析した。この日は，これまで我々が確認した蜃気楼の発生日における風の特徴をよく示しており，蜃気楼の発生時刻には日本海から北東よりの風で田中，五十里を送風し，生地，魚津では北北東よりに変化している。第14図に各観測地における気温の変化，第15図に石田フッシャリーナにおける気温の鉛直分布を示す。



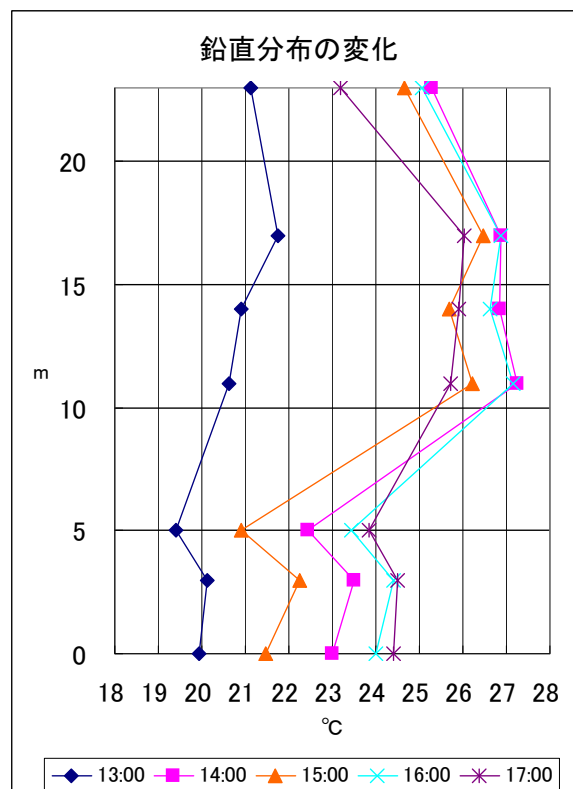
第14図 2004. 5. 26の各地の気温

特徴として、第14図からは蜃気楼の発生時には五十里や田中では大きな昇温は認められないが、生地鼻、生地、立野では急激な気温の上昇が見られた。また、第15図からは、石田フッシャリーナにおいては、蜃気楼の発生時に10～15m付近に強い暖気の移流が見られた。このことは、これまで我々が観測してきた気象観測と一致する。

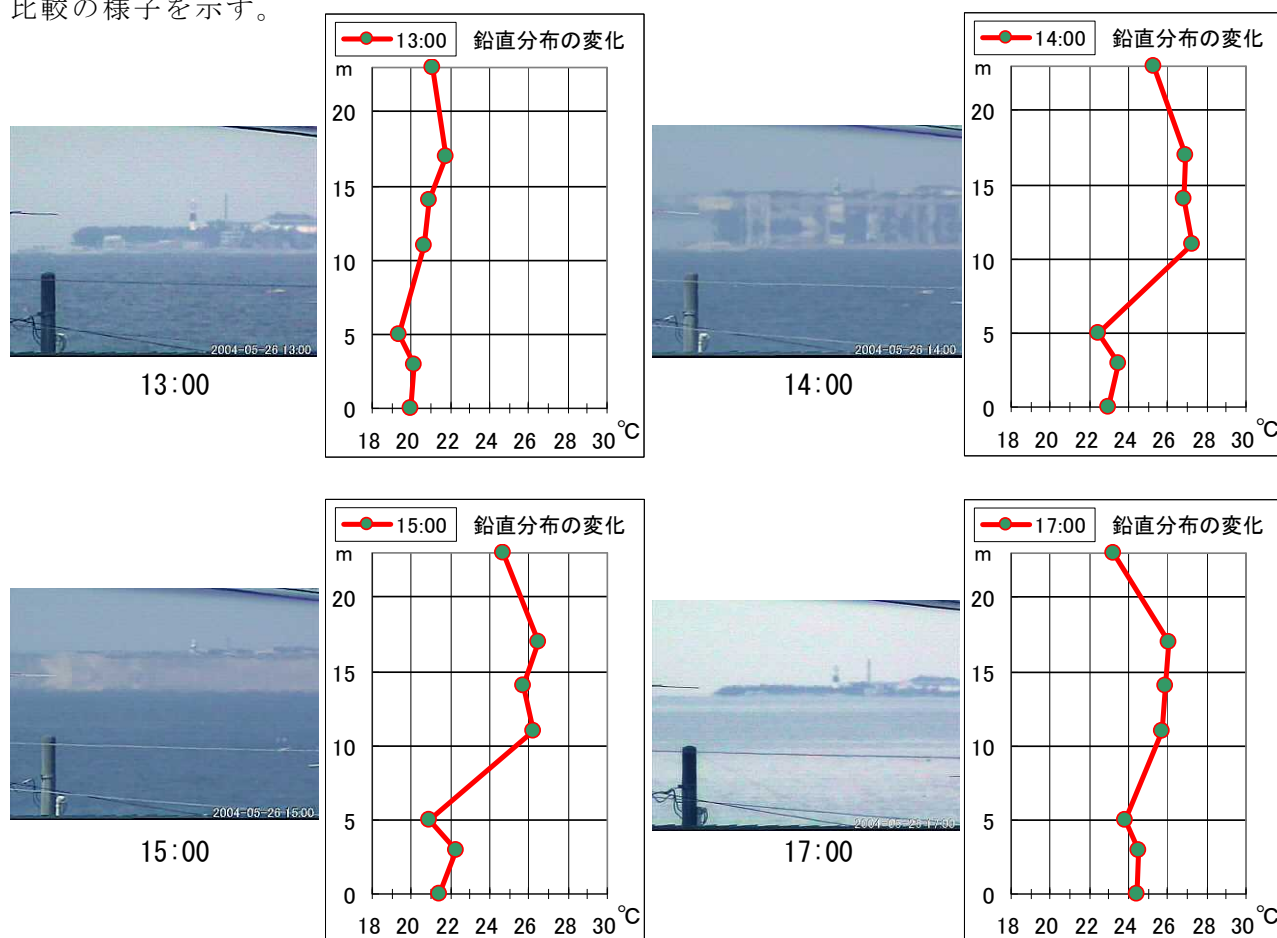
(4) ライブカメラと気象データとの比較

カメラによる映像の変化が、気象データとどのような関係にあるかを、気温の検証と同様、蜃気楼の発生日5/26(ランク：B～A-)で検証してみた。

検討は気温の鉛直分布の変化とライブカメラの映像を時間を追って比較してみた。比較の結果、気温鉛直分布が示す暖気移流時には、蜃気楼の像も顕著になることが分かり、結果、石田フッシャリーナで観測される暖気は、蜃気楼を形成する大きな要因となることが確かめられた。第16図に比較の様子を示す。



第15図 石田フッにおける気温の鉛直分布



第16図 蜃気楼と鉛直分布の比較(2004. 05. 26)

6. 考察

(1) 暖気の移流とともに蜃気楼が発生

富山県立滑川高等学校に設置した蜃気楼観測用のライブカメラの画像と石田フッシャリーナで観測された気温の鉛直分布を詳細に比較・検討した結果、蜃気楼は暖気の移流が認められないときには発生しない。その後、暖気が移流するとともに蜃気楼が発生し、暖気移流がなくなるとともに蜃気楼も終息する。そして、蜃気楼は暖気移流の強さ(温度傾度)に応じて変化が大きくなったり小さくなったりする。

また、このとき各地の気温と石田フッシャリーナでの気温の鉛直分布を比較すると、蜃気楼の発生前は石田フッシャリーナでは上部、下部ともに陸地を通過しないと考えられる海風を観測しており、蜃気楼の発生時には下部では、陸地を通過しない海風がそのまま吹き、上部では陸地を通過し暖められた暖気が吹いていると考えられる。また、蜃気楼の終息後は陸地を通過しない海風と暖められた暖気が混合して吹く傾向があると思われるが、これについての結論は更なるデータの蓄積が必要と考える。

(2) 蜃気楼の持続モデルの検証

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連続して吹き、生地鼻の沖で混合せずに上に暖気、下に冷気となる必要がある。そこで、本年は生地鼻周辺における、暖気(上層)と冷気(下層)の風向・風速の相違及び海風の回り込みを詳細に観測する予定であったが、観測機器のトラブル等により観測データを得ることが出来なかった。

5. まとめ(上位蜃気楼の発生モデル～暖気移流と蜃気楼の持続～)

これまでの研究・蓄積してきたデータをふまえ、我々は、富山湾における上位蜃気楼の発生理由について、以下のモデルを昨年の報告に続き改めて提案したい⁷⁾。

<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の日本海より吹く。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、海水温に近い状態で緩やかに推移する。また拡散により、海拔数10mまでは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向・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。

6. 今後の課題

(1) さらなるデータの蓄積

全体にわたって観測データをさらに増やしたい。暖気と冷気の持続時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) 蜃気楼発生モデルの検証

これまでの観測データから、暖気と冷気の持続モデルを提案できた。今後は生地付近の海上において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さらに詳細に検証したい。

(3) 富山方面のデータ収集

これまでは上暖下冷の空気層の形成過程を解明するため、これまで観測は主に魚津から生地方向にかけて行ってきた。今後は上暖下冷の空気層がいかに富山方向へと持続されていくかを解明しなければならない。

(4) 定点観測カメラの活用

蜃気楼発生の有無や規模、時間を客観的に知る方法として、ライブカメラの活用は大変有効な手段となることが分かった。今後は、さらに設置場所を増設し相互の画像を比較・検討することで画像から蜃気楼を検証したい。

7. 謝辞

まず、黒部市と黒部漁業協同組合には石田フィッシャリーナに気象観測機器を設置させていただき深く感謝します。また、国土交通省北陸地方整備局の黒部工事事務所には、観測装置柱として五十里・生地鼻・立野の監視カメラ柱及び田中の風向・風速観測柱の使用を快諾して下さりお世話になった。おかげで蜃気楼発生理由解明のための気象観測がスムーズに進みました。

柱への装置のとりつけについては、北陸電力（株）魚津支社のご好意と、堀田純一サービス課長をはじめとする職員の皆さんの技術にお世話になりました。

（株）堀江商会の皆さんには石田フィッシャリーナへのポールの設置をしていただきました。途中、観測器の不良により、代替装置の設置にも早急に対応していただきました。

ライブカメラについては、福島県会津若松市の星弘之氏からの数々の助言により、素晴らしいシステムを構築することが出来ました。レンズの選定からフリーソフトの紹介など、細部にわたり大変お世話になりました。

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

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) 魚津市教育委員会, 2002蜃気楼フォーラム記録集, (2002) 1-33.
- 3) 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.
- 4) 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.
- 5) 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.
- 6) 市瀬和義, 富山湾の蜃気楼における発生理由の解明, 平成14年度魚津市委託研究報告書, (2002) 1-13.
- 7) 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.
- 8) 木下正博, 蜃気楼交流会講演資料集, 魚津埋没林博物館, (2004) 8-9.
- 9) 木下正博, 蜃気楼ライブカメラホームページ, <http://www014.upp.so-net.ne.jp/kino/index.htm>
- 10) 魚津埋没林博物館ホームページ, <http://www.city.uzo.toyama.jp/nekkolnd/>