

富山湾の蜃気楼における発生理由の解明

市瀬和義（富山大学）、木下正博（滑川高等学校）

1 はじめに

(1) これまでの研究経過

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光が屈折し、対岸の物体が伸縮したり反転したりして見える局地的な光学現象である。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。

蜃気楼は対岸の像が上にできるか、下にできるかによってそれぞれ上位蜃気楼と下位蜃気楼に大きく分けられる。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勾配を示し、下位蜃気楼はその逆の上冷下暖となる。

下位蜃気楼は1年を通じていつでも見られるが、上位蜃気楼は主として春に、条件がそろわなければ見ることができない。その意味では珍しい現象とされており富山湾の上位蜃気楼は特に有名である。

② 雪解け水説から暖気移流説へ

富山湾においては、上暖下冷の温度勾配ができるのは、立山連峰から流れ出す雪解け水が富山湾を冷やすためといういわゆる「雪解け水」説が80年以上の長きにわたって信じられてきた¹⁾。しかしながら、この説は蜃気楼の原因とされる高さの海上気温を直接調べた結果ではなく、以前より疑問の声があげられていた。

そこで我々は1999年の蜃気楼発生日とそうでない日に実際に海面上の気温の鉛直分布を観測した²⁾。その結果、蜃気楼発生日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、新しく「暖気移流説」を発表した³⁾。

③ 暖気移流説の確認

この説を確かめるため、これまでに我々は、以下のような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

④ 2001年までの研究成果

- a) 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。
- b) この暖気が黒部の海上に移流する。
- c) 暖気は富山方面に向かって吹き、次第に冷氣と混合されていく。ことが明らかとなってきた^{4,5)}。

⑤ 2002年の観測

2002年の測定では、上記に加え、更に以下のことが明らかになった。

- a) 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。
- b) 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。

c) 陸地で暖まった空気は海上の上層（8～14m）に流れ込む。

このことをふまえ、我々は「暖気移流説」に新しく以下の「持続モデル」を追加、提案した。

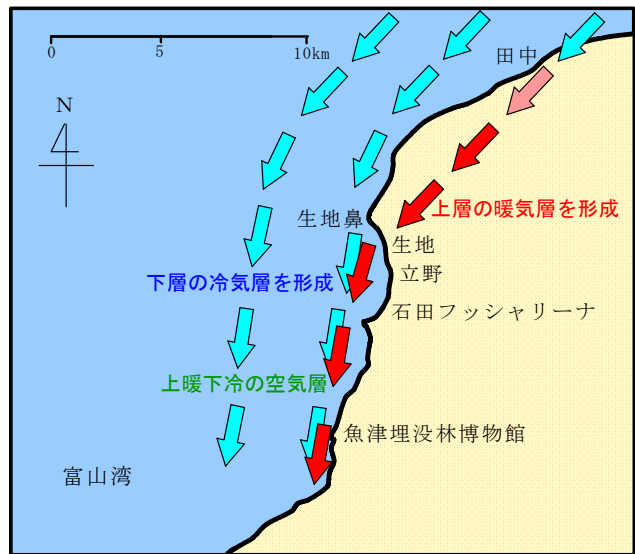
(2) 蜃気楼の持続モデル

ー冷気はどこから来るかー

海上における下層の冷氣層の気温は、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、数値計算から暖気が海面水温によって冷却されたものとは考えにくい。

そこで我々は、連続して上層へ暖気が移流するとともに、下層には上層とは異なる風向で、田中に吹く海風の気温にきわめて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と考えた。

そして図1のような新しいモデルを考えた⁵⁾。



【図1】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)

(3) 2003年の研究視点

このモデルを確認するため、2003年は以下の2点に絞って観測，研究を行った。

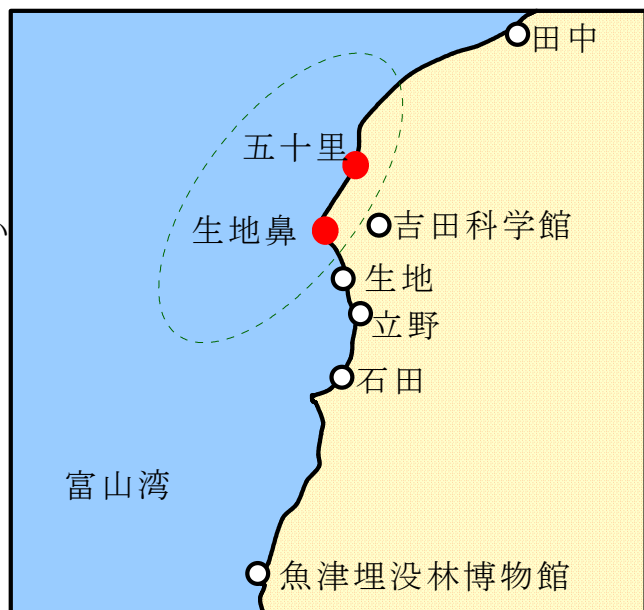
- ①生地鼻周辺（海風が富山湾に入る地点）での海風の回り込み。
- ②富山湾の東部沿岸における暖気（上層）と冷氣（下層）の風向・風速の相違。

2 研究方法

2003年は、昨年までの気象観測を継続し、さらに富山県東部沿岸地域の観測地を図2に示すように2箇所増設し、生地周辺での気温と風の観測を詳細に行った。

(1) 今年重点観測事項

- ①田中～生地における気象観測網の充実
 - 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、釣り栈橋にポール（23m）を設置させていただいた。詳細は昨年の報告書⁵⁾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⁵⁾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。



【図2】観測地点 ○昨年同様 ●新設

(2) 観測地点

各地点の気温観測の位置、設置場所、観測内容の詳細を表1に示す。昨年は、観測柱の上下2箇所装置をとりつけた。このうち、昨年の結果から、低い位置のデータは地物の影響を大きく受けることが分かった。そこで今年は、気温の鉛直分布を観測する石田フィッシャリーナ以外では、高い位置のみの観測とした。

【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	○	○
吉田科学館	○10 m	敷地内	○	○
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	◎	◎
石田	—	国土交通省	○	○
魚津	◎3.4 m	自作支柱	—	—
埋没林博物館	○5, 25 m	2000年に設置済	○	○
滑川高校	◎23.6 m	屋上（今年度より設置）	◎	◎
水橋	—	国土交通省	○	○

(3) 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昨年と同様であるので略す⁵⁾。

(4) 作業

機器取付作業一覧を表2に、取付の様子を図3～4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	3/27	ポール設置	(株)堀江商会	3/27～8/1
	8/1	撤収		
観測柱 監視カメラ柱 電柱	4/17	風向・風速計 温度センサー取付	北陸電力（株）魚 津支社、植田要助 課長ら	4/17～9/24 国土交通省：田中、五十里、生 地鼻、立野 北陸電力（株）：生地
	9/24	撤収		



【図3】五十里



【図4】石田フィッシャリーナ

3 観測結果

(1) 観測状況

2003年の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⁶⁾、春型の上位蜃気楼は表3に示すように正式には9回観測されている。今年度の特徴を以下の①～⑤に示す。

- ①回数は昨年7回に比べれば増えたが、例年に比べそれほど多くはない。
- ②5/2及び5/13にはっきりとした蜃気楼が観測された。
- ③4/28～29、5/2～3、5/12～14など2～3日連続して蜃気楼が出た。
- ④魚津蜃気楼研究会では、これまで魚津の沿岸から観測していたが、今年是对岸から魚津方面の観測がされた。
- ⑤11/2に秋には珍しい上位蜃気楼の観測がされた。

【表3】2003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	備考
	3/24			別地点で観測報告あり
1	3/28	14:15～16:20	C	
2	4/28	12:20～14:00	D	
3	4/29	14:00～14:40	D	
4	5/2	9:40～18:15以後	B～A ⁻	
5	5/3	14:00～15:00頃	E	
6	5/12	17:00～18:00以降	C	
7	5/13	9:00～12:30頃	B	
8	5/14	11:00～12:30	C	
9	6/4	11:45～15:00頃	C	
	11/2	12:20～13:20頃	C	観測確認(新聞)

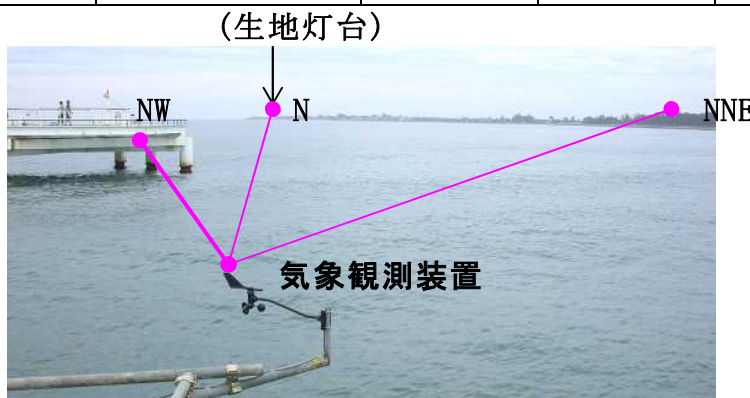
<ランク> B:肉眼ではっきり識別でき、長時間にわたるが方向が限られる。
 C:肉眼で識別できるが短時間。または双眼鏡で識別でき、長時間。
 D:双眼鏡で識別できるが、短時間。
 E:双眼鏡でも識別に経験を要する。

(2) 風向

表3のうち本報では5月の発生日でCランク以上を解析した。その結果を表4に示す。

【表4】2003年5月における蜃気楼発生日の風向

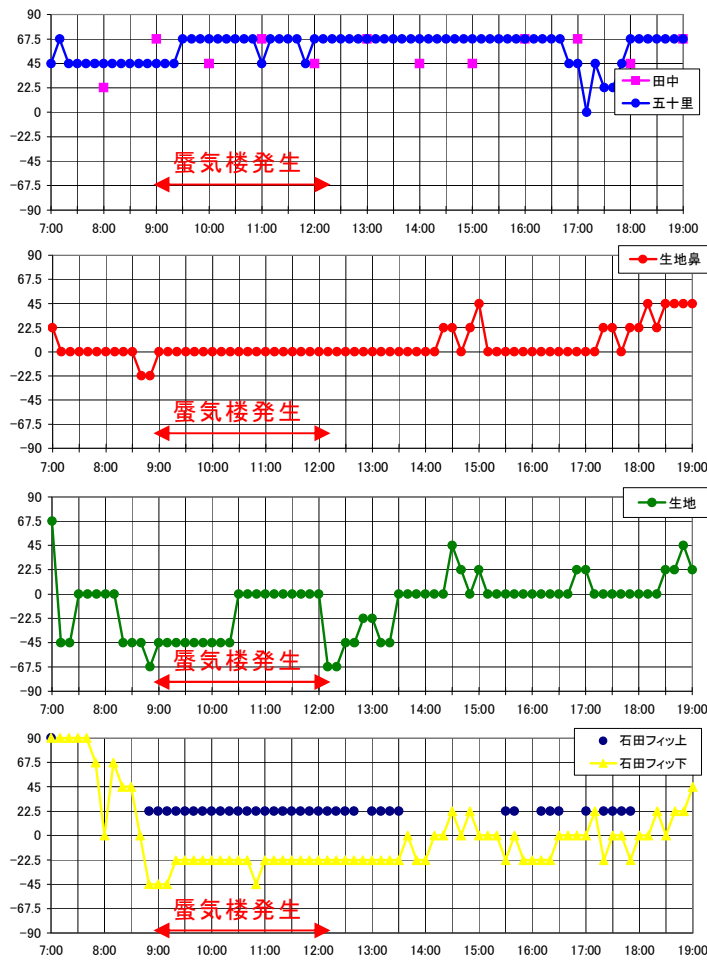
日	五十里	生地鼻	生地	石田フィ(上)	石田フィ(下)
5/2	NE	N	欠測	NNE	N-NNW
5/12	NE-E NE	NNE	N	欠測	N-NNE
5/13	NE-E NE	N	NW-N	NNE	NNW
5/14	E NE	N	N	NNE	NNW



石田フィッシャリーナからの方角を図5に示す。

【図5】石田フィッシャリーナよりの方角

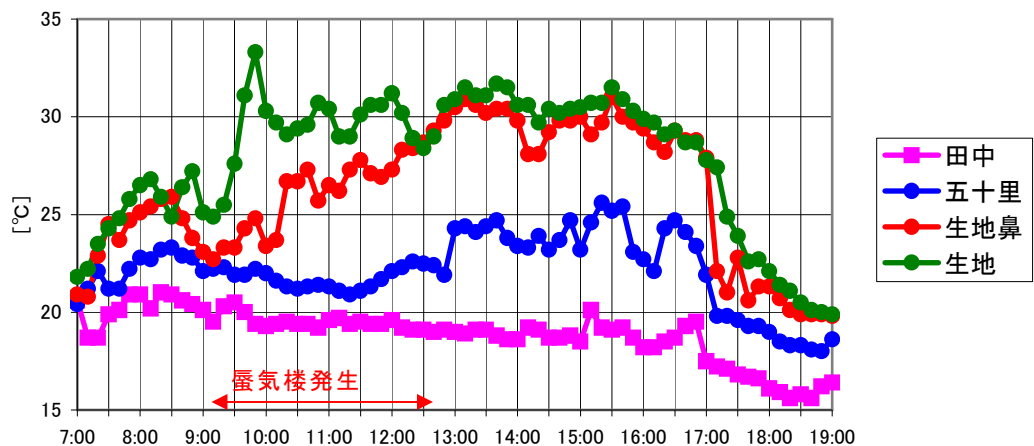
これらの地点で、5/13（曇気楼の発生日）の風の生データを図6に示す。特徴として曇気楼が発生している時間帯では、石田フィッシャーナの上下で風向が異なっている。



【図6】2003.5.13の各地の風向

(3) 気温

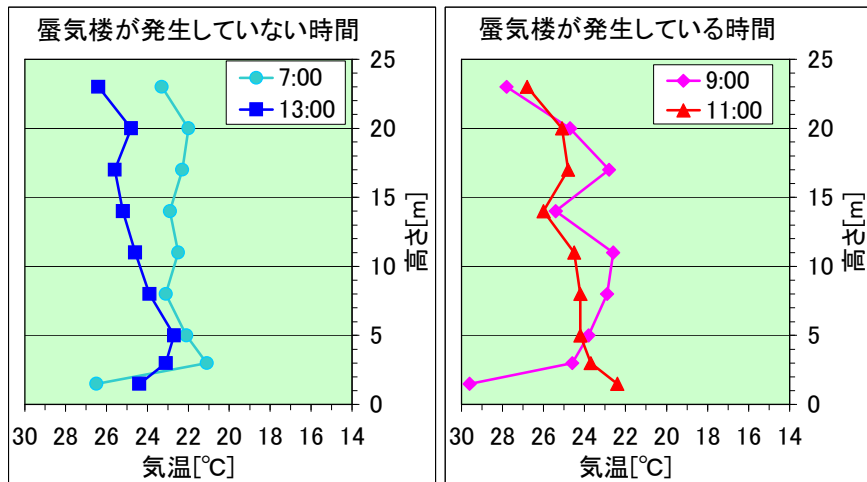
2003年5月13日の各地の気温を図7に示す。特徴として、日中は田中の気温が20℃前後で推移し、この温度は水温に近い。また、風向からこの空気は陸地を通り、五十里、生地鼻、生地と流れてくると推測され、この間に気温は約10℃も上昇している。



【図7】2003.5.13の各地の気温

(4) 石田フィッシャリーナ上下の気温

2003年5月13日の石田フィッシャリーナでの気温の鉛直分布を図8に示す。



【図8】2003.5.13 石田フィッシャリーナでの気温の鉛直分布

特徴として、蜃気楼の発生時には海拔14m以上に強い暖気の移流が見られる。

(5) まとめ

以上をまとめ、蜃気楼の発生時の風の流れを図9に示す。特徴として海拔15m付近の風は日中、田中や五十里方向から陸上を通過し、海岸縁にそって生地鼻から回り込むように吹いている。また、陸上を通過する間に気温が大きく上昇している。一方、海拔3m付近の風は15mの風とは方向を異にし、大きな気温の上昇は見られない。



【図9】2003.5.13 富山湾東部沿岸における風の流れ

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。

蜃気楼は北東より安定した風が継続的に吹いていなければならない。まず、富山湾東部沿岸では安定した風が吹く。この風は田中・五十里付近から入り込み、陸地

を通過してくることで、地熱により大気が暖められ、気温は大きく上昇する。このことは、観測と熱収支（2002年6月13日、詳細略）の計算からも確認できている。

(2) 冷氣層は陸地を通過しない。

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)の冷氣層では上(14m)とは異なる風向であった。このことから冷氣層は、陸上を通過しない空気であることが推測された。この冷氣層の気温は田中、五十里で観測される気温に近く、海上にある空気そのまま冷氣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、下に冷氣となる必要がある。そのことを考えると、観測事実は、暖気、冷氣が共に供給されていることになり、その結果、蜃気楼が9:00~12:30という長い間持続したことを説明できる。

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～の提案）

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、以下のモデルを提案したい。

＜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。暖気と冷氣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、暖気と冷氣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に、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。

7 謝辞

まず初めに、黒部市と黒部漁業協同組合に皆さんに石田フィッシャリーナに観測機器を設置させていただいたことを、ここに深く感謝する。海上気温だけでなく海岸縁の気温の鉛直分布を観測し、暖気の形成過程について詳細なデータを得ることができ、我々の研究は大きく前進した。

風のデータの提供については、国土交通省北陸地方整備局の黒部および富山工事事務所の調査課の皆さんにお世話になった。おかげで蜃気楼発生理由の有力な手がかりがつかめた。特に、黒部工事事務所では、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い、研究はスムーズに進んだ。

柱への装置のとりつけには、北陸電力(株)魚津支社のご好意と、植田要助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った。高いところへの装置のとりつけを大変ていねいに能率よくやっていただいた。

(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いた。設置は大変骨の折れる仕事であるがてきぱきと実施して下さった。

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った。

ここに重ねてお礼を申し上げる。

来年も本年同様のお願いをすと思われるが、またよろしくお願いしたい。

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) 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).
- 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、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.
- 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 14 年度魚津市委託研究報告書、(2002) 1-13.
- 6) 魚津埋没林博物館ホームページ、<http://www.city.uozu.toyama.jp/nekkolnd/>