

富山湾の蜃気楼における発生理由の解明

富山大学教育学部
市瀬 和義

1 はじめに

(1) 冷たい雪解け水説への疑問

魚津市は「蜃気楼の見える街」として全国的に有名で、昔からたくさんの人たちがその神秘さに魅了され観測を続けて来た。しかし、蜃気楼発生の予報は難しく、これまで風向や気圧配置などによって経験的に予想することがほとんどであった。

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。空気の密度は温度に依存する。つまり端的に言えば、空気の温度差によって蜃気楼は出現する。例えば、富山湾の春の蜃気楼は上暖下冷（上が暖かくて下が冷たい形）の空気層が形成されることによって発生する。

この理由として、これまで、月平均の気温や海水温から立山連峰の冷たい雪解け水が富山湾の海水を冷やし、その結果、空気層の下側が冷たくなるという、いわゆる「富山湾の冷たい雪解け水」説が知られている。これは、1919年の藤原らの研究¹⁾によってその可能性が示唆され、一般に認められてきたものである。しかしながら、この説は月平均の気温や海水温から間接的に考えられたもので、蜃気楼発生日の気温の鉛直分布を直接調べ科学的な検証をした結果ではなく、以前より一部の専門家や学識経験者から疑問の声があげられていた。

(2) 暖気移流の新説

富山湾の海上気温の鉛直分布はこれまでに、1919年の大森ら²⁾と1952年の上田ら³⁾による研究の僅かに2例しか観測報告がない。しかもこれらは観測高度が3mとあまりにも低いことから、蜃気楼発生日における気温の鉛直分布を議論するには不十分でしかなかった。

そこで我々は、1999年5月の蜃気楼発生日とそうでない日に石田浜で海上30mまでバルーンをあげ、実際に海面上の気温の鉛直方向分布を測定した。さらに2000年には魚津市の協力を得て、魚津埋没林博物館に気象観測装置を海拔5mと25mの高さを変えた2ヶ所に設置し、風向・風速・気温などの観測を開始した。

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流入して発生する現象であることを見出した。そして、これを新しい暖気移流説として2000年の春に提唱し、気象学会でも発表し、全国の話題となった⁴⁾。

(3) 海上気温の鉛直分布のデータ

しかし、我々の観測は海上での測定ポイントが石田浜1ヶ所のみであった。さらに参照した地上での気象観測データは、かなり地物(ちぶつ：地面や地形、建物など)の影響を受けており、必要とする海上の情報とはかなり異なることが予想された。そのため、生地から富山にかけての空気の状態は、蜃気楼の写真などをもとに

コンピューターシミュレーションの光路計算から温度勾配を仮定し、推測するしかなかった。

そこで、2001年には海上の3ヶ所で同時にバルーンをあげ、気温の鉛直分布を直接観測し、暖気移流説を裏付ける生のデータを得たいと考えた。

(4) 予知にむけて

この研究は、これまで蜃気楼発生の予報が経験的にしか行われてこなかったことに対し、風向、風速、気温といった基礎的なデータを収集し、これを解析することで、初めて蜃気楼に科学的なメスを入れるものである。また、海上においてこれまで誰も行っていなかった地点で、しかも20mまでの高さでの観測に着手し、測定を平面上の2次元的なものから鉛直分布といった3次元的なものに広げた点で大きな意味がある。

さらに、このような多方面からの科学的アプローチによって、蜃気楼発生の理由を解明し、将来は蜃気楼の詳細な予知（日、時間帯、ランク、連続・不連続）の確率アップにつなげたい。

もしこの研究が成功すれば、毎年、蜃気楼を目当てにやってくる魚津市の観光客に正確な情報提供ができ、魚津市の観光行政に広く寄与貢献し、その活性化につなげることができる。さらには、魚津市が今後、日本のあるいは世界の蜃気楼研究のメッカとして、学術的な中心となることが期待される。

また、近年、琵琶湖、小樽、四日市からも蜃気楼が観測されたという報告がある。このように、蜃気楼はますます全国的にも注目されてきており、学術的にも価値がある現象である。これらを含めて、蜃気楼情報を全国や世界に発信していきたい。

2 観測の準備

第1節でも述べたように、これまでの海上気温の鉛直分布の測定は、海上に3mの棒を立てて行ったのみである^{2, 3)}。また最近、大鐘らは、海上のブイに2mの棒をたてて小樽での観測をしている⁵⁾。しかしながら、蜃気楼の写真の解析やこれまでの研究から⁴⁾、気温の境界層は3m以上のところにあり、最低でも20mくらいの高さまで測定しないと意味がないことが指摘された。また、実験時しかデータがとれないので、自動計測の必要があるとされた。とはいうものの、船の上や海上に高い棒を立てるのは事実上、不可能に近かった。それゆえに、どのような観測手段をとるかは、大きな問題であった。

これに対し我々は、1999年にゴム性のバルーンにヘリウムを充填し、石田浜で観測し、海上測定のコツを得た。バルーンは棒に比べ比較的容易に測定ができる。またセンサーをいくつかとりつけば高いところまで、高さを変えた同時測定が可能である。そこで我々はこれまでのノウハウをもとに、今回も、バルーン測定にふみきった。

1999年の石田浜の測定ではヘリウムを充填したゴム製のバルーンに温度センサーを1個だけとりつけ、それを上げ下げし測定するという極めて簡単な方法であった。この方法ではつきっきりで測定しなければならないことと、上げ下げの作業の間に温度が変化してしまう恐れがあった。このことを解決するために温度計やセンサーをいくつかとりつけて長期間にわたって係留する必要がある。そのためには以下(1)～(4)までの問題をクリアしなければならなかった。

(1) 軽量、長期間、堅固、ねじれ

①バルーン

これまでの観測の経験より、バルーンは風の影響を受けることが分かっている。本観測においてもバルーンは風の影響をあまり受けない大きいもので、しかも浮力

の大きいものを選ぶ必要があり、以下の点に考慮した。

- ・強い日差し、豪雨、強風、波浪、海水などの過酷な条件に耐える堅固なもの。
- ・長期間の係留に耐えられること。
- ・ログを3～4個、センサー、ロープをとりつけても落下しないだけの浮力があること。



・中に入れるガスは安全のためヘリウムとする。

以上の条件を満たすために(株)宝来社を通じ、広告バルーンの専門である富山県アドセンター企画(株)を紹介していただいた。直径2.5m、厚さ0.2mm、ビニール製、色は目立つように白色のものとした。ログ・センサー・ロープの総量は2.2kg重であり、それを引いたバルーンの浮力は6.9kg重であった。バルーンの横には伏木海上保安部富山分室の指導により、落下や飛散の場合でも所属が分かるように「富山大学」と大きく書かれたシールを貼った。図1に使用したバルーンを示す。

【図1】バルーン

②温度記憶計

- ・1個のバルーンのロープに自動温度記憶計を数個取りつけ、そこに温度センサーをつなぎ、海上気温の鉛直方向の高さによる違いを観測する。
- ・記憶計はバッテリー可動とし、長時間の観測に耐えられる。バルーンは上げっぱなしになるので、その期間データを記憶させ、あとでパソコンに回収する。
- ・バルーンにつける特性上、小型で軽量のものが望ましい。

以上の要求を満たせるものとして、今回は(株)堀江商会を通じ(株)佐藤計量器製作所のデータログ(以下単にログとよぶ)SK-L200Tを選んだ。大きさは幅12cmで高さ8.4cm×厚さ2.8cm。重さは電池を入れて約220g。1個のログからは最大3.75mの外部温度センサーが2個つけられる。図2に使用した温度記憶計を示す。



【図2】自動温度記憶計

③ロープ

- ・軽量で強固なものを使用し、しかも海水に強いものとする。

以上の条件をクリアするべく直径6mmの漁業・登山用ビニールロープを用意した。なお、メインロープの他に、バルーンの上げ下げができるように補助ロープもとりつけるよう考えた。

④よりもどしのある取付金具

- ・取付が簡単なもの。
- ・海水などに腐食されないもの。
- ・軽い金具。
- ・今回のバルーンは360°回転可能である。従ってバルーンをそのままロープにとりつけ、それをブイに結べば、ロープはバルーンの動きにつれて激しくよじれる。そこでロープは上下を固定し、まっすぐにして回転させずにおき、ロープとバルーンおよびロープとブイの間には、魚釣りを使うような一方が回転可能なよりもどし付のものにする必要がある。

図3にこの金具(スィベルという)を示す。

また、以上③、④は(株)宝来社を通じ用意した。



【図3】 よりもどしのある取付金具（スイベル）

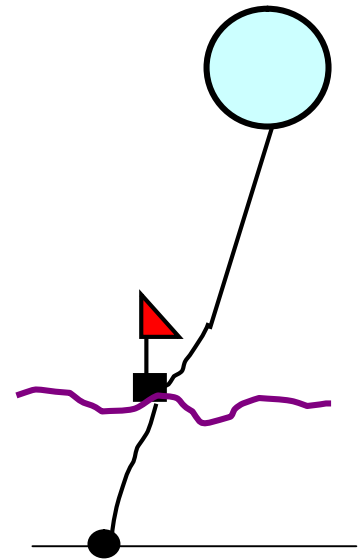
(2) おもりから定置網へ

さて、このバルーンをどのように係留するか。それが最大の問題であった。当初は、バルーンのロープを1本にするか、それとも2～3カ所ロープを繋ぐかが問題となった。カ所ロープを繋ぐかが問題となった。この場合、結論からいえば、1本で360°回転させる方が無理なく、しかも簡単である。2～3ヶ所では風向によって全く固定の意味がなくなってくる。また係留方法については、最初は図4のようにブイにとりつけ、そのブイをおもりで海底に固定することを考えた。しかしこの方法だと

- ・富山湾の海底の形状からうまくおもりが収まるかが疑問。
- ・ブイとおもりをつなぐロープが漁業活動の障害になり、場合によっては漁船にからまる恐れがある。

といった問題がある。

このことで頭を悩ましていたところ、魚津漁業協同組合参事の浜住博之氏が「定置網の端のブイにつないだらどうか」という考えを示して下さった。ただし、それには定置網は実際に漁業を行っている場所であり、漁師さんたちの了解が必要であること、そして漁業に差し障りがないことを保障するという2点の問題をクリアする必要があった。



【図4】 おもりで固定

(3) 場所の選定

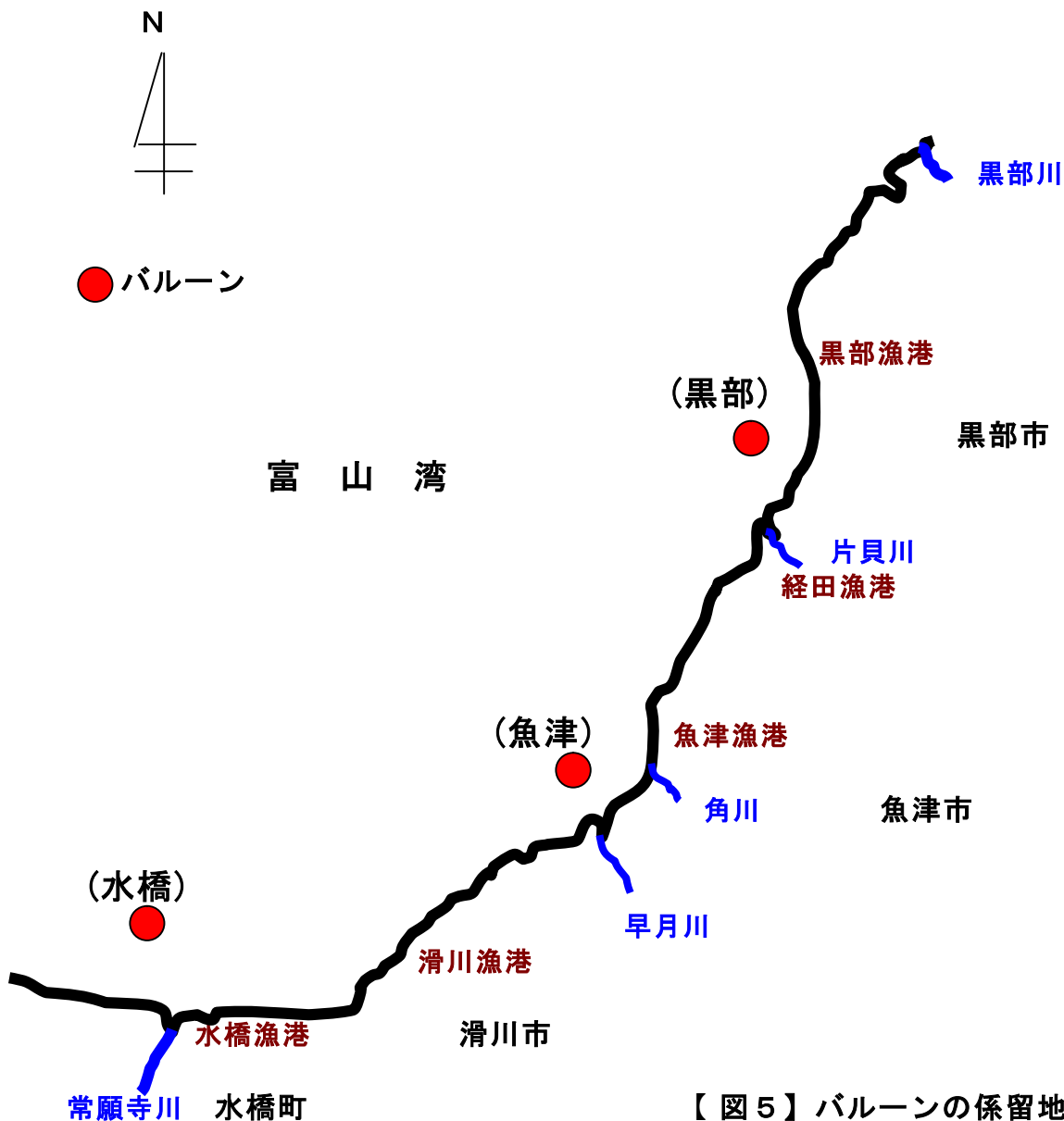
そこで早速、富山湾の海図をひろげ、定置網のある場所を知り、我々の希望に一番近い場所はどこかの検討に入った。

蟹気楼研究の立場からいえば、よりたくさんの場所での測定が望ましいが、予算の関係から黒部・魚津・水橋の3ヶ所を選んだ。これらのデータが得られれば、暖気の流れがかなり明らかになることが予想された。そして、くろべ漁業協同組合参事の富山俊二氏、魚津漁業協同組合参事の浜住博之氏、水橋町漁業協同組合組合長の岡本文男氏、参事の藤岡勇氏らに具体的な網元さんを教えていただき、交渉に入った。

その結果、場所の一部変更などがあったが、以下の網元さんの定置網への係留を決定した。場所については図5を参照されたい。

- ①黒部：定置網「鷹野」、浅野重吉氏
- ②魚津：定置網「鴻津一番」、魚津水産（株）大黒信吉氏、中村喜一氏
- ③水橋：定置網「天念坊」、有沢菊次氏

これらの方にお問い合わせしたところ、快く引き受けて下さった。



【図5】バルーンの係留地点

(4) 作業の依頼

取付作業は、定置網周辺の状況を熟知している漁師さんに船を出してもらうことにし、協力をお願いした。

3 観測

(1) 予備調査第1回目

① 温度記憶計ロガ

最初のロガの取付は、図6のように、何よりも軽さを重視する立場から、ペットボトルを輪切りにし、その中にロガを入れて、あとで回りをビニールテープで巻くという方法をとった。そして、ペットボトルには3ヶずつの穴を3カ所にあけた。そこにビニール製の風糸を通し、それをロープに縛り付けた。中のロガの防水はビニール袋のみで、外の蓋や穴をあけたところには防水用のシーラントをつけた。

② 温度センサー

センサー部分も同様に輪切りされたペットボトルの中に入



【図6】ペットボトル



れて、日光が直接センサーに当たらないようにした。

その様子を図7に示す。

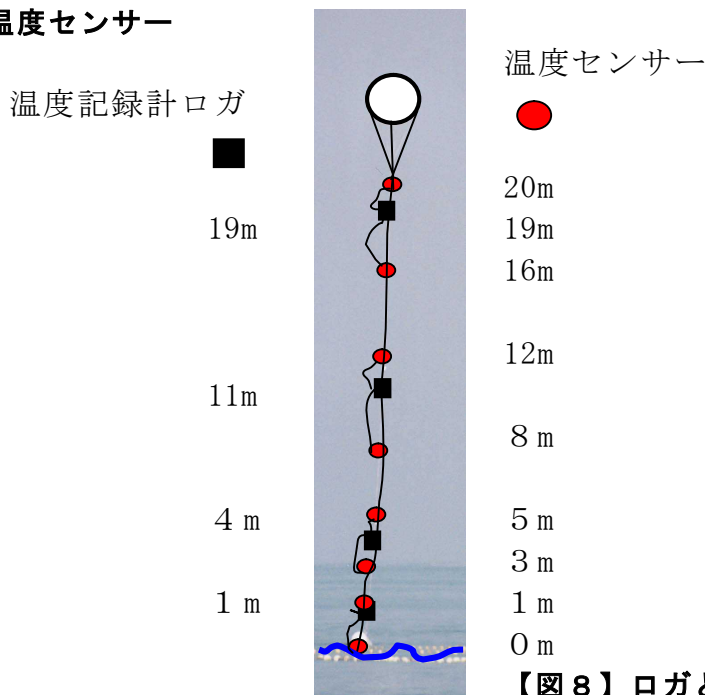
さらに、ログおよびセンサー部分が入っているペットボトルはいずれも白く塗り、日光による暖まりを防いだ。

ロープへの取り付けは、ログのペットボトルと同様な方法で行った。

③ 取付位置

測定ログは図8のように1、4、11、19mの4カ所に取り付けた。それらに3.75mおよび1.5mのセンサーを取り付け、0（海水）、1、3、5、8、12、16、20mの8カ所の高さで気温が測れるようにした。

【図7】 温度センサー



【図8】 ログとセンサーのとりつけ

④ 取付作業

マスコミも注目する中、最初のバルーンの取付が魚津水産（株）さんの全面的な協力を得て4月25日に行われた。この日はあいにく朝から小雨が降り、風も少しあってバルーンとりつけにはあまり条件がいい日ではなかった。富山県アドセンター企画（株）の武田景勝氏に協力していただき、なんとかバルーンをとりつけた。しかし、風の中、あまりうまく上がらなかったため、途中で再度バルーンを下ろし、ヘリウムを再充填した。そのときに一部のペットボトルが海水に浸かり、ログの一部に海水の浸水があった。

⑤ 点検

バルーンをあげているときは、毎日、うまく上がっているか双眼鏡でチェックした。また、漁業協同組合や魚津水産（株）さんをお願いして近くを通る漁師さんが異常をみつけた場合はただちに連絡していただくようお願いした。

⑥ 回収と結果

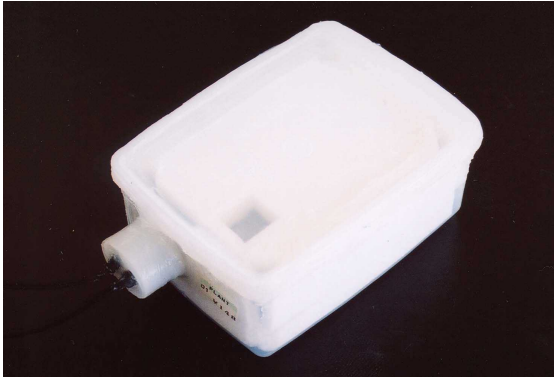
ログの回収は5月1日に、今度は第八博栄丸船長の桐岡博氏をお願いして船を出していただいた。回収はログおよびセンサーのみで、バルーンには異常がなくヘリウムの充填をして、そのまま係留した。ログは4個全てに海水が浸水し、データは全くとれなかった。この原因としては、風が強く、ログ入りペットボトルが海面

に接触することによって大きな衝撃が生じたためである。この衝撃力は我々の試算をはるかに超える大きなものであった。そこでもう一度防水対策を見直し、装置の改良に取り組んだ。

(2) 予備調査第 2 回目

① プラスチック密閉容器の使用

前回の調査においてバルーンは落下せずには上がっていた。またよりもどし等も、うまく作動していた。そこで防水以外のものについてはそのまま続行し、計画通り進めることにした。またセンサーも特に異常がなかったのでそのまま使うことにした。



防水対策として図 9 のようなプラスチック製密閉容器を使用した。これは水が漏れない工夫がされており、しかも軽く強度がある。ここにログを入れ、センサーの接続部はフィルムケースを利用して防水用のシリコンシーラントで塗り固めた。これに蓋をし、防水用シリコンシーラントで再び周りを塗り固め、完全防水をした。この容器をさらに少し大きめのプラスチック製密閉容器に入れて封じ、端にロープを縛り付けて固定し、落ちないように工夫した。

【図 9】 プラスチック製容器（ログ入） に工夫した。

② ログの取付

ログは図 8 と似た形で 3、11、19m の位置にとりつけ、センサーは 0、4、8、12、16、20m の高さにとりつけた。これらの取付は 5 月 7 日に行われ、回収は 5 月 12 日に桐岡博氏にお願いして行った。

③ 結果

回収の結果、一番下の 3 m の位置で、バルーンが水面をたたいたときにプラスチック製容器の角が衝撃を受け、センサーコードが切れてしまったが、あと 2 つは大丈夫でデータがとれた。この方法で観測ができる確信を得た。

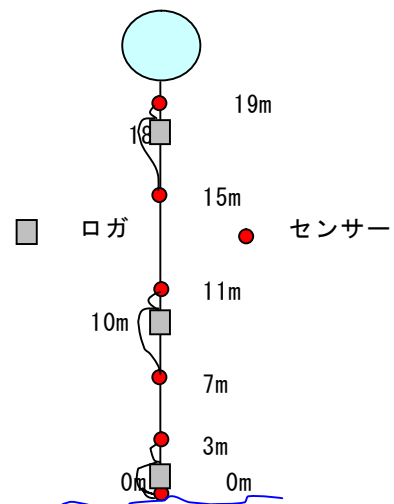
(3) 本調査 1 回目

① 取付



【図 10】 ブイにとりつけたログとセンサー

第 2 回目の予備実験にもとづき、本調査ではプラスチック製容器の周りを発砲スチロールで囲み、衝撃に耐えられるよう改良した。ログの一つは図 10 のごとく 0 m、すなわちブイに直接とりつけることにした。これは下のログが衝撃を受けないためである。あとのログは図 11 のごとく 10、18m の位置にとりつけた。これに伴うセンサーは 0、3、7、11、15、19m の高さにとりつけた。



【図 11】 取付位置

0 mのセンサーの先は図 10のごとくフィルムケースで保護した。黒部・魚津・水橋そろっての本調査測定開始は5月15日から5月21, 22日まで行った。黒部は海人丸船長の中田陽一氏に船を出していただき、網元の浅野重吉氏に、定置網ブイへのとりつけを手伝っていただいた。魚津は前回と同様に桐岡博氏に船を出していただいた。水橋は恵比寿丸船長の石金久利氏に船を出していただき、水橋漁民合同組合の高島高志氏らに取付を手伝っていただいた。

②バルーンに亀裂

5月21日の朝、水橋の高島氏から「バルーンが水没している」という連絡があり、石金氏に船を出していただき回収した。調べた結果、バルーン下部のヘリウムガス充填口付近に1 cm程度の小さな亀裂が見つかり、そこから水が入っていた。ログは大丈夫でデータはとれていた。また黒部の浅野氏からは「バルーンがしぼんできている」という連絡をうけ、第八黒瀬丸船長の山田晃司氏にお願いして見に行った。やはり水橋と同じような場所に同じ程度の亀裂が入っており、結果としてヘリウムが少し抜けた状態であり、バルーンを回収した。ログは大丈夫であった。

これらの水橋と黒部のバルーンは、ただちにアドセンター企画(株)に修理を依頼し、再度の調査に備えた。バルーン破損の直接の原因は5月19日、20日の強風によるものであると考えられた。しかし、直接の原因についてはアドセンター企画(株)でも通常の陸上の使用しか経験がなく、このように海上で長期間の係留は過去に例がなく不明ということであった。

(4)本調査2回目

本調査1回目にもとづき、同様の方法で本調査2回目もいけると考え、高さも前回と同じにして6月5日にとりつけた。回収は6月13日であった。3地点ともに異常なくデータがとれた。作業一覧を表1に示す。

なお黒部の最後の回収は、朋栄丸船長の能登誠二氏にお願いした。

【表1】作業一覧(敬称略)

場所	バルーン 係留期間	定置網元	種別	作業日・内容	漁船
黒部	5/15~5/22 (7日)	定置網「鷹野」 浅野重吉 <作業> 5/15, 6/5, 13 3回	本調査 ①	5/15 バルーン・測定器取付	海人丸：中田陽一 1回
				5/21 測定器のみ回収	第八黒瀬丸：山田晃司
	5/22 バルーン破損につき バルーンを回収				
	6/5~6/13 (8日) 計15日		本調査 ②	6/5 バルーン・測定器取付	3回
			6/13 バルーン・測定器回収	朋栄丸：能登誠二 1回	
魚津	4/25~6/13 計49日	定置網「鴻津一番」 魚津水産(株) 大黒信吉 中村喜一	予備 調査①	4/25 バルーン・測定器取付	魚津水産(株) 1回
				5/1 測定器のみ回収	第八博栄丸：桐岡博
			予備 調査②	5/7 測定器のみ取付	
				5/12 測定器のみ回収	
			本調査 ①	5/15 測定器のみ取付	
				5/22 測定器のみ回収	
		本調査 ②	6/5 測定器のみ取付	7回	
			6/13 バルーン・測定器回収		
水橋	5/15~5/21 (6日)	定置網「天念坊」 水橋漁民合同組合 有沢菊次 高島高志 <作業> 5/15(2), 6/5 3回	本調査 ①	5/15 バルーン・測定器取付	恵比寿丸：石金久利
	5/21 バルーン破損につき バルーン・測定器を回収				
	6/5~6/13 (8日) 計14日		本調査 ②	6/5 バルーン・測定器取付	
			6/13 バルーン・測定器回収	4回	

4 データの解析

(1) 蜃気楼発生日

今回行われた本調査第1回目(5/15~5/21, 22)と第2回目(6/5~6/13)の期間中で蜃気楼が観測されたのは、石須秀知氏らによる魚津埋没林博物館における観測記録によれば次の2日間である。

① 5月15日 10:25~12:00

生地、岩瀬方面、 ランクC(肉眼短時間、双眼鏡長時間)

② 5月17日 15:00~17:00

富山~新湊方面、 ランクB(肉眼長時間)

このうち①の5月15日は観測装置をとりつけているときであり、特に水橋での作業中に船上で蜃気楼が観測できた。しかし、3地点でのデータがそろわないので以後の解析の中心を②の5月17日におく。

また、比較のため蜃気楼の発生しない日として5月16日と6月9日を取りあげた。詳細については後述する。

(2) バルーンの高さ

バルーンは風の影響を受け、その高さが変わる。そのため本来はバルーン的位置に風速計をとりつけ、そのデータをもとに高さの補正が必要となる。また風向によってバルーンが風圧をどのように受け、そのために、浮力がどうなるかなど細部にわたって計算しなければならない。

しかし今回の場合

① バルーンでの測定は気温のみしか得られていない。

② 風のデータは陸上のものしか得られず、海上とはかなり異なる。

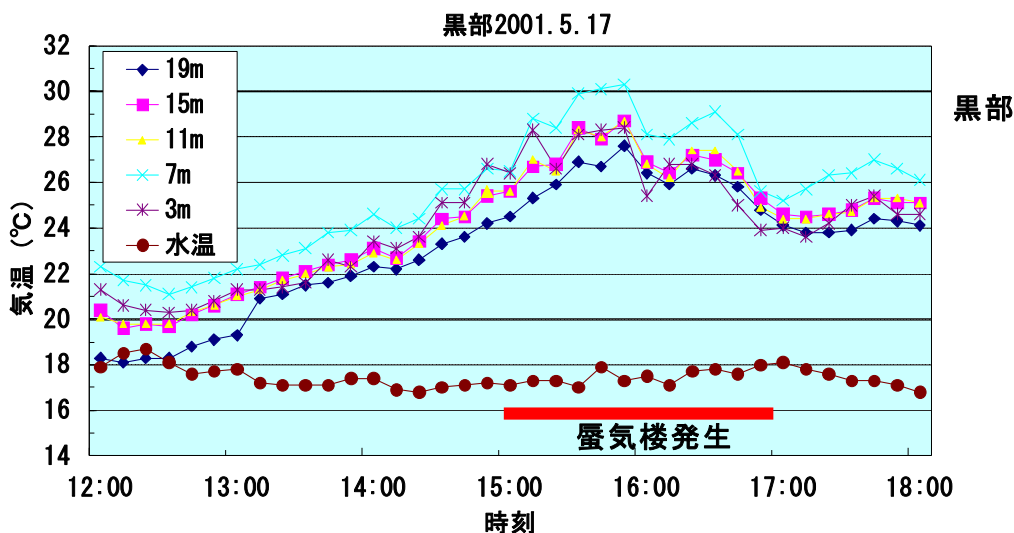
③ 仮に浮力7kg重が絶えず上に向かってはたらいっており、しかも蜃気楼発生時の風向が3m/s程度であったとすると、単純な試算によれば高さの誤差は最大でも1m以下である。

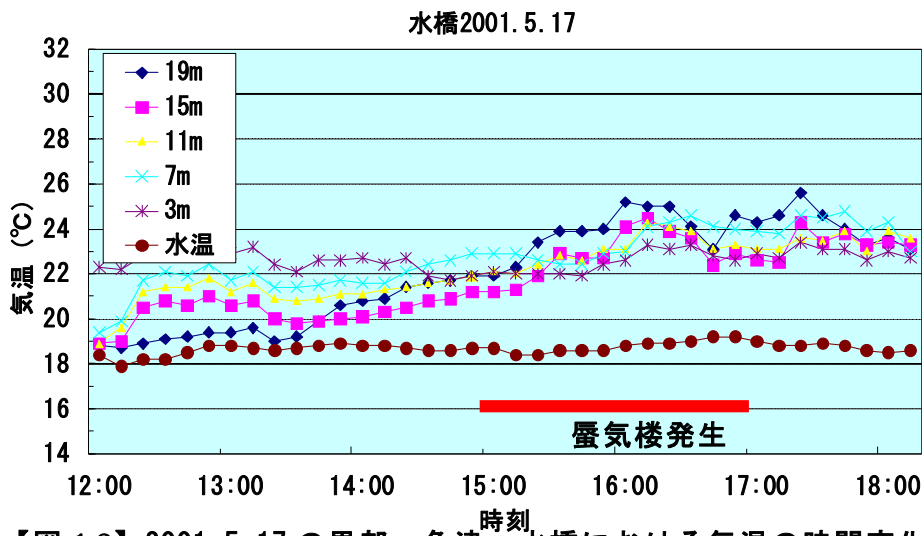
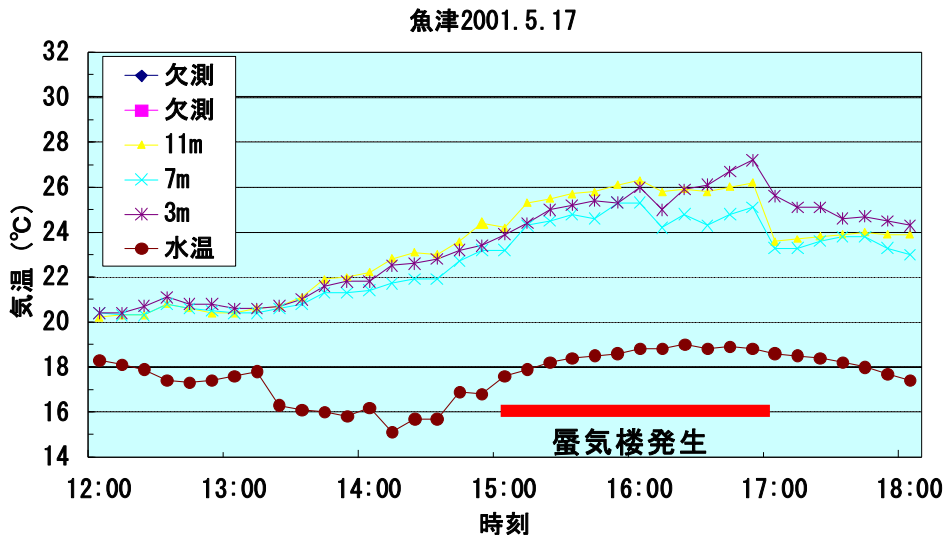
以上の理由によって、最初にとりつけた高さのままでデータを扱った。従って、高さは絶対的なものではなく最大で1mの誤差があることを予めお断りしておく。

(3) 海上気温の鉛直分布

① 蜃気楼が発生した2001年5月17日の3地点における海上気温

図12に黒部、魚津、水橋での海上気温の鉛直分布(10分おき)の結果を示す。水温は、3地点とも18℃前後で大きな変化はない。しかし、気温はそれぞれ高さによる違いが観測された。他に比べ温度の高い場所に注目すると、黒部では7mで

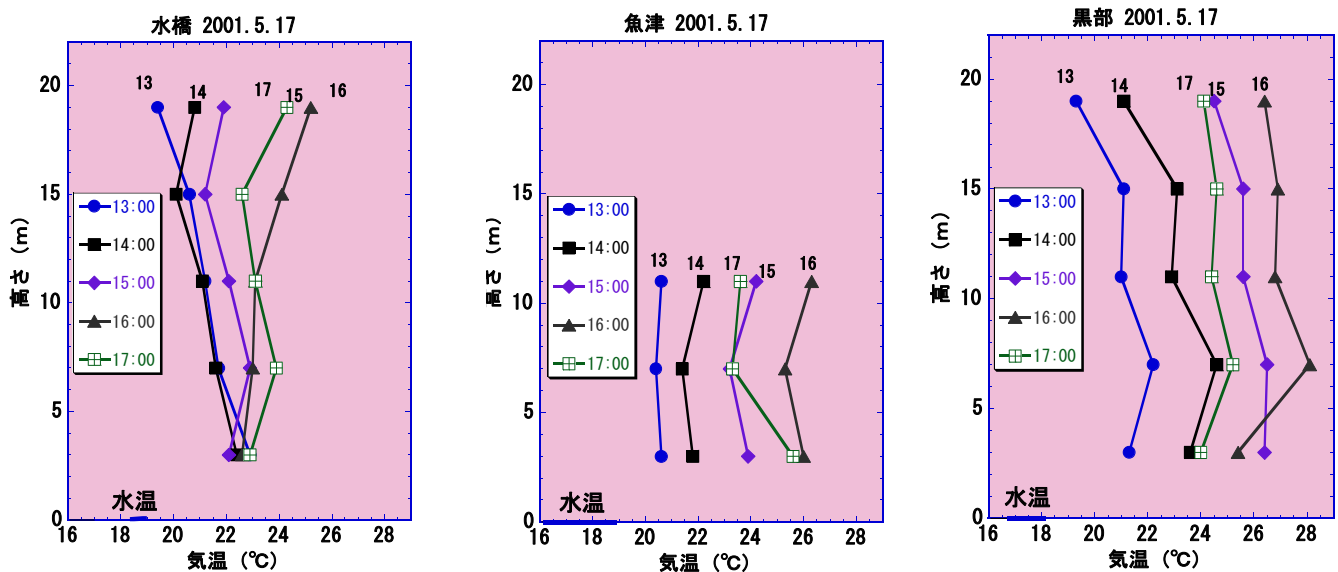




【図 12】 2001. 5. 17 の黒部、魚津、水橋における気温の時間変化

の気温が高い。魚津では 11m での気温が、さらに水橋では 19m の気温が高くなっている。このことを分かりやすくするために、高さ気温の関係を図 13 に示す。

② 気温と高さの関係



【図 13】 2001. 5. 17 黒部、魚津、水橋における鉛直方向の高さと気温の関係

図 13 下部の青色直線部はその時間の水温範囲を示す。

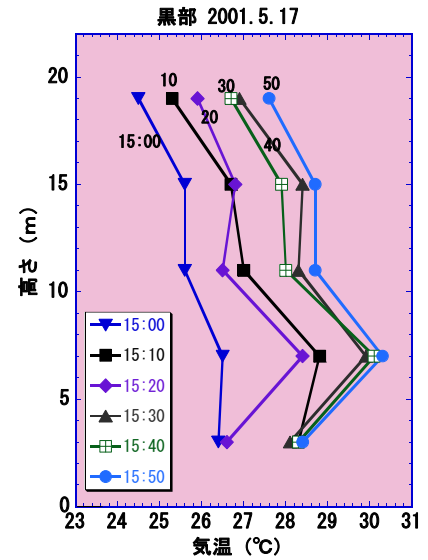
海上気温分布をみると、まず黒部では7mを中心とした暖気がかなり早い時間から流れこんでいるのが分かる。

この部分をさらに分かりやすくするために図 14 に黒部における 15:00~15:50 の気温の垂直分布を示す。15:00 では3mから15mまでは、それほど温度差はない。しかし15:10あたりから3mから11mの間に、7mをピークにして最大で2℃の温度差を持つ暖気が流れ込んできている様子がよく分かる。

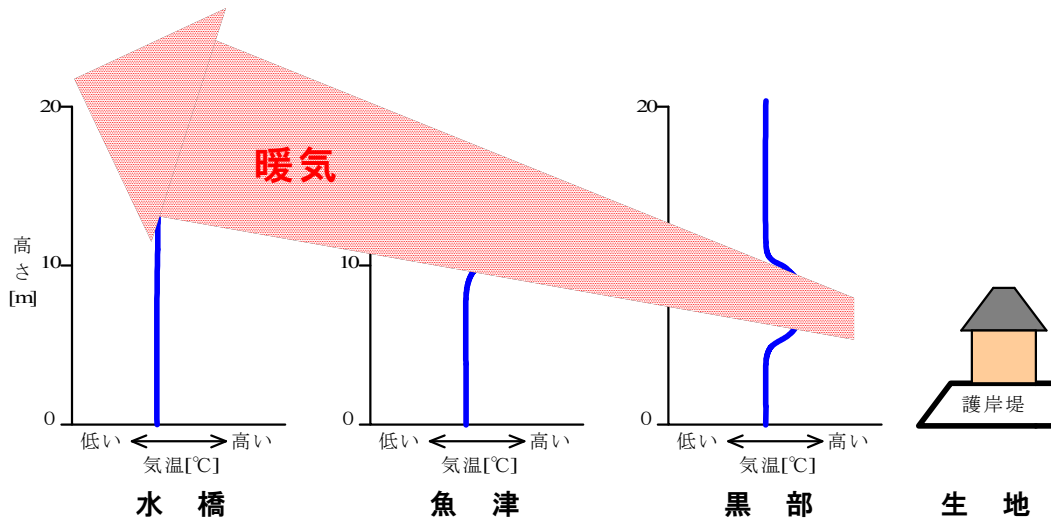
この流れは、図 13 でも分かるように魚津で11mの部分に（それより上の高さは残念ながら欠測で分からないけれども）温度上昇し、さらに、水橋では19mへと広がっていく。

蜃気楼はこの日、15:00~17:00 まで観測されており、黒部の7mあたりの暖気移流が大きな原因と考えられる。

このデータだけではまだはっきりとしたことはいえないが、これらの結果と、木下のこれまでのシミュレーション結果⁴⁾を合わせて考えると、黒部に移流した暖気は以下のように流れていくと予想される。



【図 14】黒部の暖気移流



【図 15】暖気の流れ予想図

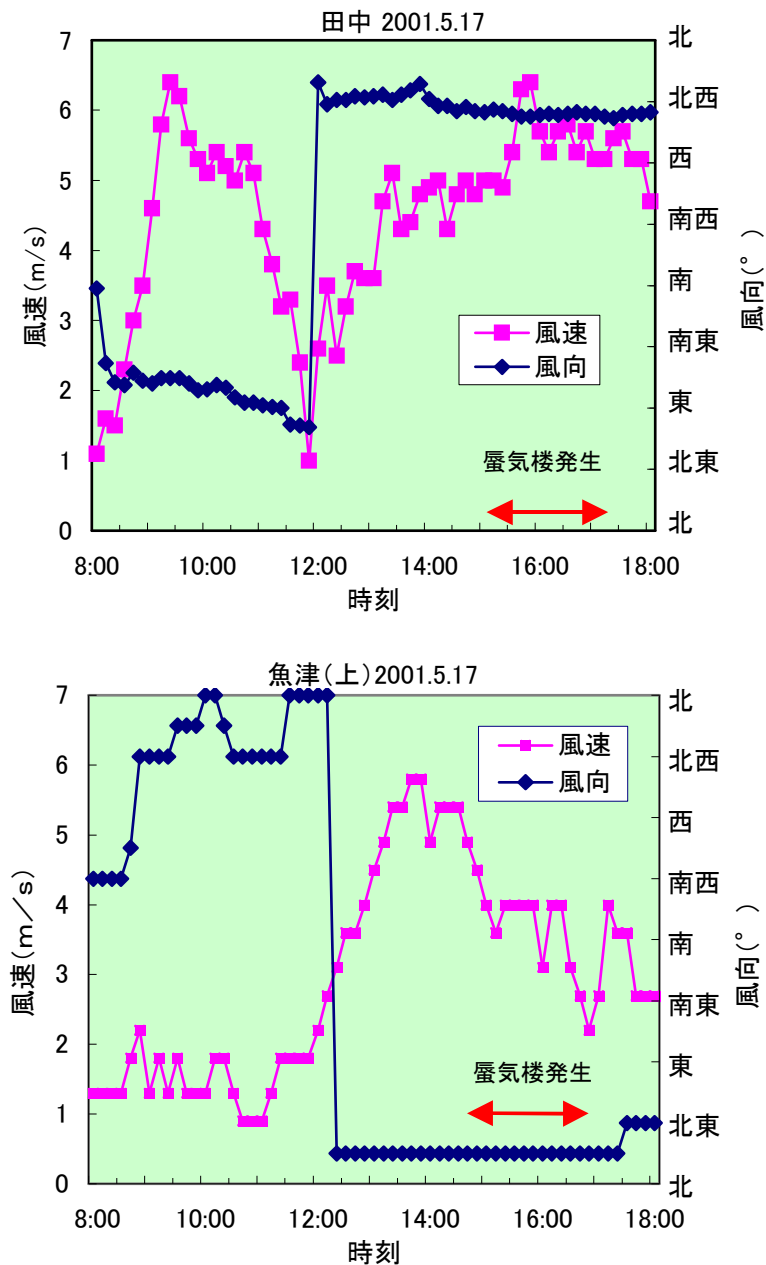
(4) 風の影響

① 風向と風速

気温は風の影響を受ける。今回は、気温を測定した場所での風向・風速の観測ができなかったため、詳細については不明である。

しかし、海岸縁での風によってある程度の予想ができる。そこで、国土交通省富山工事事務所から水橋（海拔 10m）のデータを、また同黒部工事事務所からは田中（海拔 15m）と石田（海拔 10m）のデータをおかりした。さらに、吉田科学館（海拔 15m）と魚津埋没林博物館（下：海拔 5m、屋上：海拔 25m）の観測データを用いて、このとき風はどのように吹いていたのか調べた。そのうち、典型的な田中と魚津埋没林博物館屋上の風向、風速の様子を図 16 に示す。

田中の観測装置はほとんど海岸縁にあり、地物の影響をあまり受けておらず、この近辺の海風の影響をほぼそのまま反映していると考えてよい。



【図 16】 5/17 の田中と魚津の風

の 10:00 は、田中の風は図 16 に示されるように風速 5 m/s のかなり強い東の風で長時間にわたって安定して吹いている。それに対して吉田科学館（以下、簡単に吉田とする）と石田の風は、田中とは全く正反対の西の風である。風速は 2 m/s とそれほど強くはない。

また 10:00 における吉田、石田、魚津埋没林博物館の下と屋上（以下、簡単に魚津上・下とする）および水橋の風は海岸にほぼ直角の方向に海岸から陸地に向かって海風が吹いている。このような傾向は袴谷らの研究⁶⁾とよく似ている。

吉田の風は、強い田中の風の影響を受けて、その後安定せず風向は 11:00 に北西に、13:00 には北へと変わっていった。また石田の風は、次第に北の方向へと変わっていった。同様の変化は魚津上・下と水橋にも見られた。このような各地点にお

田中では 12:00 過ぎから、それまで東に吹いていた風が、ほぼ北西に変わっている。そして風速もかなり安定した 5～6 m/s の強い風が吹いている。通常、曇気楼が発生しているときは北～北東が多く今回のように北西というのはめずらしい。

一方、魚津埋没林博物館屋上の風は 12:30 から 17:30 まで北北東の安定した風が吹いている。風速もこの時間帯は 3～5 m/s と強い。この傾向向は地上でも全く同じで、ほぼ同じ時間帯で 1～3 m/s の安定した北の風が吹いている。

②風はどこから来たのか

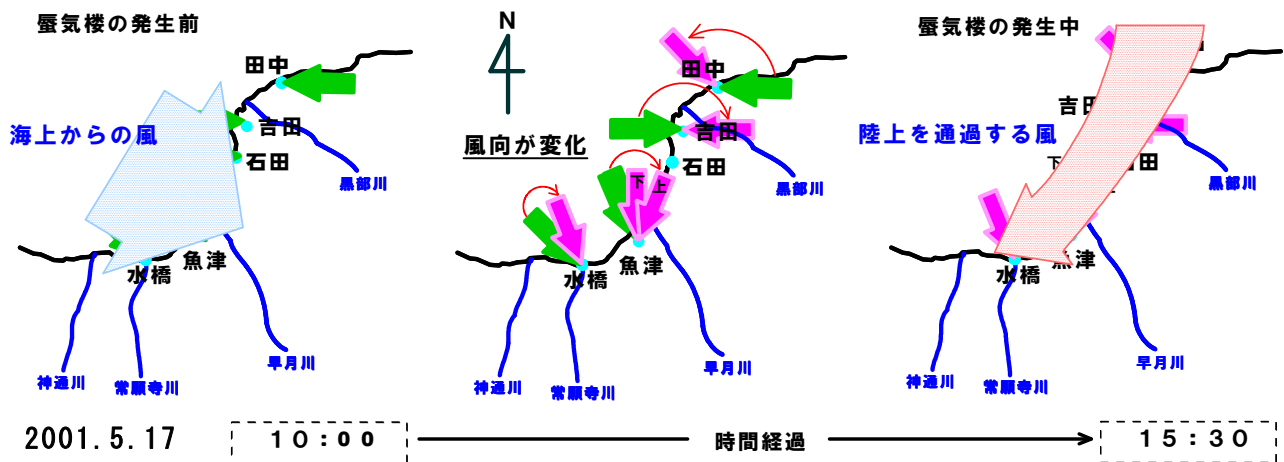
田中と埋没林博物館で観測された午後における安定した風は、いったいどこから吹いてきたのだろうか。このことを解明するために田中、吉田科学館、石田、魚津埋没林博物館（上、下）及び水橋の風のデータを図 17 に示す。

石田についてはこの日、残念ながら一部欠測の時間帯があった。

比較のため曇気楼が出た時間帯（15:30）と出ていない時間帯（10:00）をのせておく。

曇気楼が出ていない時間

ける風向の変化の様子を、図 17 の真ん中にイメージとして示す。



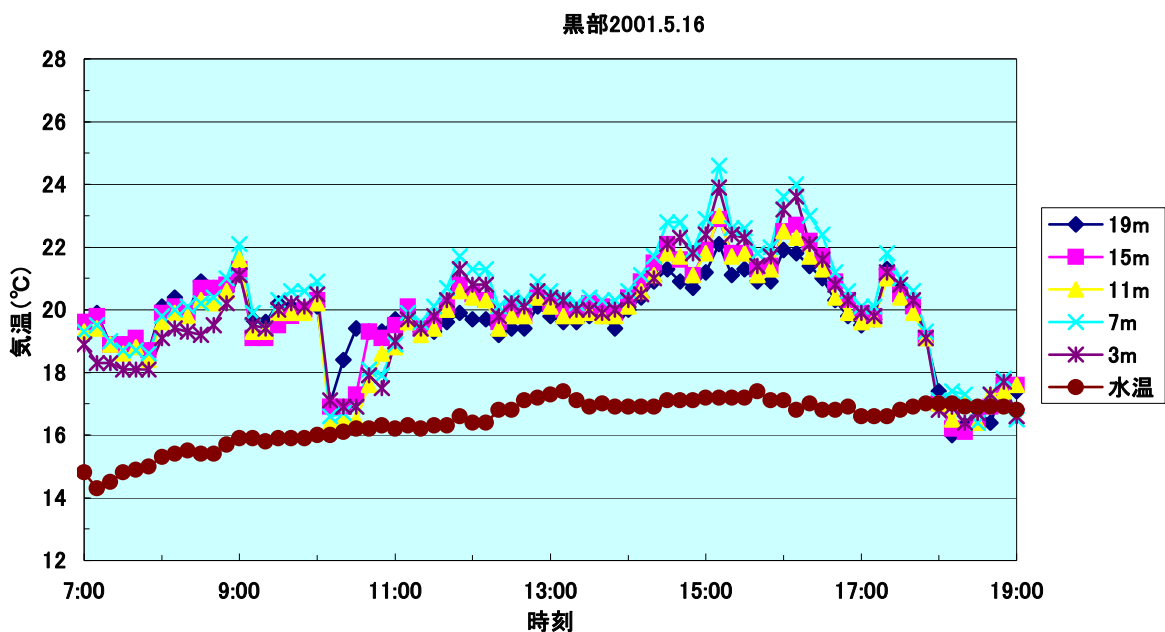
【図 17】 2001. 5. 17 の各地点の風向とその時間変化

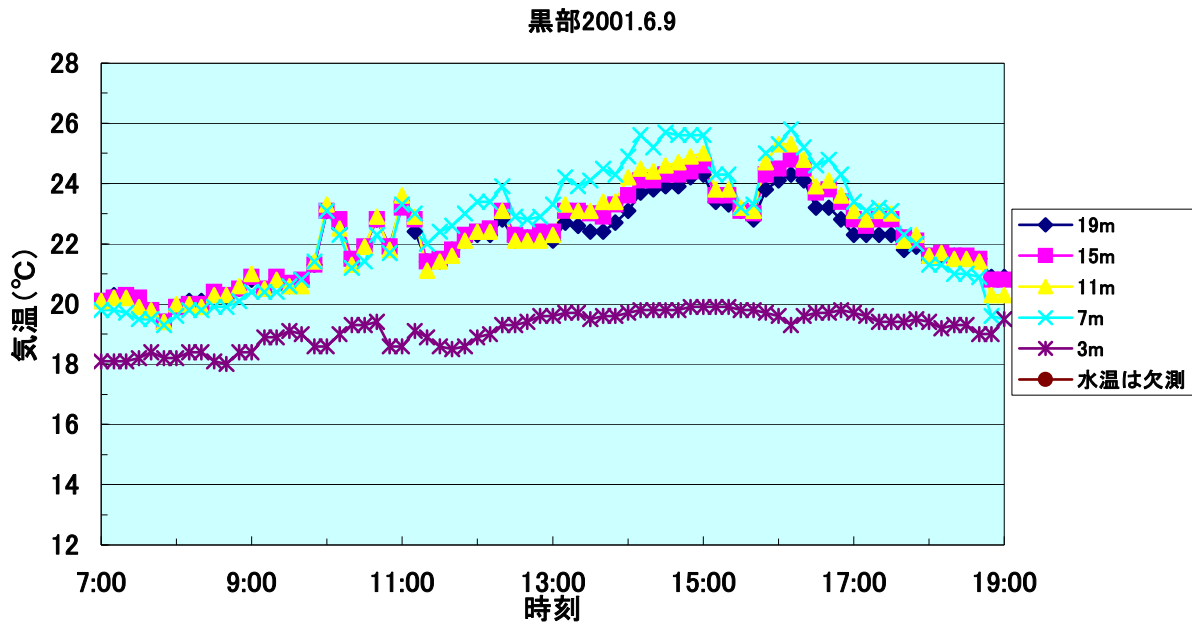
一方、田中では図 16 に示されるように 12:00 を境に東から北西へと向きをかえる。そして図 17 に示されるように、蜃気楼が発生している 15:30 には、吉田を除けば各地点ともに、海岸縁にそって風が吹くようになる。この時間の石田のデータは欠測しており残念であるが、前後から判断すると北である。もしそうだとすると、海岸縁にそって風が吹くことで、海岸近くに陸上より流れてくる暖気をさらってることが予想される。つまり 10:00 には海から陸に向かって吹く風が強く、暖気移流はおさえられるが、15:30 のように風が吹くことで、陸の暖かい風をひろい、暖気移流がおこってその結果蜃気楼が観測されると考えられる。

これらの結果はこれまでの我々の研究^{4, 6)}における風の傾向とよく似ており、我々の考えをさらに裏付けるものとなった。

(5) 黒部における高さ 7 m の暖気をどう考えるか

① 海上気温





【図 18】 黒部における 5/16 と 6/9 の海上気温

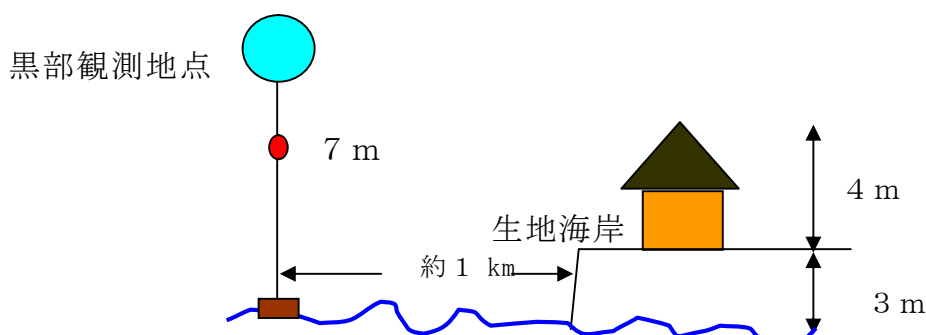
さて、(2)で見てきたように、黒部における高さ 7 m 近辺の暖気はどのようにして形成されるのだろうか。図 18 に 5 月 16 日と 6 月 9 日の典型的な例を示す。

7 m の高さに注目すると、5 月 16 日はほとんど他の高さの気温と同じである。しかし 6 月 9 日には 11:00～15:00 ころまで他の高さの気温に比べてかなり高い。これは、大きな要因として、5 月 16 日が曇りでそれほど気温が上がらず、陸地の暖まりも少なかったことと、しかも石田で東の風 6～8 m/s と風が強かったことがあげられる。それに対して 6 月 9 日は天気もよく、日中は気温の上昇につれ、陸地が暖まり、風もほとんど北の風で、その結果としてこのような差が出たものと考えられる。

黒部の測定においては、天気がよい日は、相当風が強くない限り、ほとんどの日において 7 m の高さの気温が他を上回っていた。しかも、あまり風向には依存しなかった。

②陸地の影響

このことから、暖気は黒部近辺の陸地の影響を強くうけていると考えられる。図 19 に示す模式図のように、生地の堤防が 3 m で、それから建物がだいたい 4 m の高さとなれば、陸地から出る熱をそのまま受けたとしてもおかしくはないし、常時というのも納得がいく。



【図 19】 黒部と生地の模式図

我々は先に暖気移流の原因として生地で暖まった空気を風が運ぶという考えを提案した⁴⁾。それに対して今回の観測でさらに明らかになったことは、海岸近くの陸地からの熱が、かなり頻繁に海岸に流れこみ、結果として海上の気温を高めているのではないかということである。

そう考えるといつ曇気楼が発生してもおかしくはないことになる。しかし実際には、曇気楼の発生するときには図 17 のように海岸縁にそって風が吹くことが多い。そして、この向きに風が吹くことで、陸地の熱を多く伴った風となり、それが気温を高めて、鉛直方向の温度差ができると考えられる。

いずれにしろ、この 1 回のデータだけでは不十分で、さらに温度や風のデータをできるだけ集め、さらなる検討が必要である。

6 まとめ

今回の委託研究でわかったことはまとめると以下の通りになる。

(1) 海上気温測定ノウハウの獲得

海上にバルーンを上げて、気温の鉛直分布を長期間にわたって測定するという方法は、我々はもちろん、業者にとっても初めての経験であった。失敗も幾度かあったが、それをクリアし、予定の観測ができた。その結果、海上気温の鉛直分布測定ノウハウを獲得することができた。

- ①ヘリウムを充填したバルーンで長期間の観測が可能である。
- ②温度記憶計ログ、温度センサーも今回の軽量、小型の形でよい。
- ③ただし、防水には細微にわたっての注意が必要である。この方法も今回のプラスチック密閉容器とシーラントの方法でよい。
- ④各地区の漁業協同組合と網元さん、漁師さん方の多大なご協力を得て、定置網のブイに係留させていただいたが、地物の影響を受けることなく観測でき、大変よい方法であった。

(2) 生地から富山への暖気の拡がり

海上気温の鉛直分布測定の解析からは 5 月 17 日の曇気楼発生日には、

- ①黒部で 7 m のあたりに暖気移流があった。
- ②この暖気は魚津で 11m、水橋で 19m と富山方面にいくに従って層の拡がりが見られる。

このことは、先に木下が提案した発生理由⁴⁾を裏付けたものとなった。

(3) 海岸に沿って吹く風が大事

しかし、いかに暖気が移流したとしても、そのときの風の向きによって、曇気楼は発生しなくなってしまう（6 月 9 日）。解析の結果からは、海岸にそって風が吹く 5 月 17 日のようなとき、曇気楼が発生していることが分かった。

(4) 陸地で暖まった風が影響する

今回、明らかになったことは、黒部では海岸近くの陸地で暖まった風の影響が強いことである。通常この暖気に上記(3)で述べた風の流れによってさらに暖気が加わり、結果として温度差ができて曇気楼が発生すると考えられる。

7 今後の課題

今回の研究によって残された課題は次の通りである。

(1) バルーンの高さ補正

この問題はバルーンを上げるかぎり必ずつきまとう問題である。風による誤差を少なくするには

- ①相当大きなバルーンをあげ浮力を大きくする。

②バルーンをかなり高く上げ、上がゆれても、かなり下にある測定器はあまりその影響を受けないようにする。

③温度計、センサー、ロープの軽量化。

などが考えられるが、①、③は取り扱いや費用の点から限度があり、また②は落下時に漁業に影響があることから、そうは高くできない。以上のことを総合的に判断しても、バルーンでの測定は今回のやり方が限界である。

(2) 気温の鉛直分布の観測

そこでこのことをふまえて、以下の通り、バルーンによる海上計測は黒部のみとし、あとはできるだけ海に近い陸上の気温の鉛直分布データを集める。

①田中（地上）

暖気は海から来るのか、それとも陸地を通過してできるのかを確認するために、海岸縁にあって地物の影響を受けず海風の生の様子が観測できる国土交通省の田中のポールに温度記憶計をとりつけ、気温の鉛直分布を調べる。

②生地海岸（地上）

2001年の測定では、生地から富山湾に出るときの風が重要であることが分かってきた。そこで生地海岸縁の電柱で、気温の鉛直分布を測定する。

③黒部における 再度の計測（海上）

今回の観測で明らかになった海岸縁の陸地からの暖気移流の新しい見方についてさらに明らかにするために、2001年のノウハウを生かし、バルーンによる海上気温の鉛直分布の詳細な計測を行う。

④石田浜でポールを立てての測定（地上）

高さの誤差の問題をクリアするには、ポールを立ててそこに温度計をつけることである。海上でそれを行うのが望ましいが、海の中にポールを立てることは相当困難である。そこで、より海に近い石田浜のフィッシャリーナにポールを立てて長期間の計測を試みたい。

(3) 風のデータの利用

魚津埋没林博物館上下の気象観測データや、国土交通省、吉田科学館などからデータの提供を受け、上暖下冷の空気層の成因をさぐるべく、風について解析する。

(4) 蜃気楼発生日のさらなるデータを

今年は蜃気楼の当たり年といわれたほど、長時間続く蜃気楼が何度も観測された。我々が観測した期間において蜃気楼を観測できたのは5月15日と5月17日の2日であった。蜃気楼には、そのときの気象条件の違いによっていろいろなタイプがあり、これだけのデータでその仕組みを論ずるのには無理がある。今後、さらにデータを集める必要がある。

(5) 蜃気楼予知にむけて

蜃気楼の予知については気圧配置、天候、風向・風圧、気温の鉛直分布などかなり詳細なデータがそろってきた。蜃気楼発生理由の研究とともに、どのようにして正確な予知ができるかも今後検討していきたい。

(6) 日本、世界への発信

本研究の成果は今後、気象学会への発表、論文発表へとつなげていきたい。また、これまでのデータをもとにさらに解析を進め、蜃気楼の発生理由についての研究を紹介し、全国の方たちとの議論を深めたい。さらには、魚津市が蜃気楼研究に科学のメスを入れ、研究に着手していることを日本や世界に発信し、名実ともに「蜃気楼のみえる街」にしていくことを願う。そのために我々は最大限の力を尽くしたい。

8 謝辞

まず初めに、魚津市と魚津市教育委員会にこの研究をさせていただいたことを、ここに深く感謝する。これまでの我々の研究でできなかった海上気温の鉛直分布測定をさせていただき、我々の研究は大きく前進した。

バルーンを係留し、船を出して装置を取り付け、回収するにあたっては、魚津市をはじめ、黒部市、水橋町の漁業協同組合の皆さんや漁師さんたちに何から何まで大変お世話になった。今回の研究はこの方たちの協力がなくしては何もできなかったといえる。以下、お礼の意味をこめてお世話になった方々のお名前と所属をあげさせていただき、心からお礼申し上げる。

<魚津>

浜住 博之氏 (魚津漁業協同組合)

大黒 信吉氏 (網元)

中村 喜一氏 (魚津水産 (株))

大黒 政行氏 (魚津水産 (株))

その他、4/25 に船を出していただいた魚津水産 (株) の皆さん

桐岡 博氏 (第八博栄丸)

<黒部>

富山 俊二氏 (くろべ漁業協同組合)

浅野 重吉氏 (網元)

中田 陽一氏 (海人丸)

山田 晃司氏 (第八黒瀬丸)

能登 誠二氏 (朋栄丸)

<水橋>

岡本 文男氏 (水橋町漁業協同組合)

藤岡 勇氏 (水橋町漁業協同組合)

有沢 菊次氏 (網元)

高島 高志氏 (水橋漁民合同組合)

石金 久利氏 (恵比寿丸)

その他、水橋漁民合同組合の皆さん

バルーンの取付と回収では、富山県アドセンター企画 (株) の竹田景勝氏に全てお世話になった。お忙しい中、船を出すたびごとに来ていただき感謝申し上げます。竹田氏の技術がなければバルーンは係留できなかったといえる。

風のデータの提供にあたっては、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。

この実験全体を通し、共同研究者の木下正博氏 (滑川高等学校教諭) には、計画、装置づくり、取付・回収、さらには解析まで全面的に協力していただいた。木下氏の蜃気楼の発生理由を解明しようとする意欲と協力がなければ、この研究ができなかったといっても過言ではない。また、石須秀知氏をはじめとする魚津埋没林博物館のスタッフの皆さんには、漁師さんとの交渉をはじめ、いろいろとお世話いただき、心より感謝している。

富山大学教育学部理科専攻物理の長谷川元美さんは卒業論文で気温の鉛直分布に取り組んでいる。実際に装置づくり、観測、データ処理を一緒に行ってきた。気温や風のデータ解析の一部は彼女によるものである。

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たいと思う。

参考文献

- 1) 藤原咲平、大森虎之助、田口克敏、蜃気楼調査課第2報、気象雑纂2(2)、中央气象台 (1919) 17-169.
- 2) 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) 153pp.
- 3) 上田弘之、河野哲夫、電波伝播、オーム社、(1952) 177-194.
- 4) 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).
- 5) 大鐘卓哉、石狩湾の小樽沖に発生する上位蜃気楼、日本気象学会2001年春季大会講演予稿集、(2001) 424pp.
- 6) 袴谷美弥、富山湾の蜃気楼における風の影響、平成12年度富山大学教育学部卒業論文、(2001)