熊本県立教育センター賞

知らない現象（不知火現象）を科学する５

～ついに再現に成功!! 不知火の発生・観測条件を探る～

熊本県立宇土高等学校　２年　徳丸亮汰　本田琢磨　新宅草太　小林　瑞
科学部地学班　１年　米田直人　村上聖真　西川幸輝　吉田大暉

【研究概要】 不知火を研究して６年。今年度は、以下に示す３つの疑問を元に、不知火の実態把握と再現実験に挑んだ。

疑問１：「現状～今、不知火は見られるのか？～」 ６年目でようやく八朔の晩に観測するも、不知火は観測できず。干潮時刻頃前に海岸で下位蜃気楼を確認したが、時間変化で見てみると、光源数が「０→１→２」と変化する不思議な現象を観測した。

疑問２：「原理～観測した不思議な現象の原理は？～」 シミュレーションにより、八朔時に観測した不思議な現象は、干満差の大きな不知火海において時間による潮位変化による「浮島現象」だと説明できる。また、現代でも漁火があれば、不知火が発生・観測できることがわかった。

疑問３：「再現～不知火の再現はできるのか？～」 ヒーターや扇風機などで再現実験を試みた。カメラの位置を工夫すると側方蜃気楼を、さらに視線方向の微風を吹かせると光源の光が横に分火し伸縮する不知火現象を再現することができた（世界初!?）。

＜今年度、６年間もの野外観測や再現実験、シミュレーションを駆使し、相互補完して分かったこと＞
・不知火の発生・観測条件･･･①表面海水温と気温との温度差、②冷たい河川と広大な干潟、③視線方向の微風、④海岸より少し高い位置での観測、⑤位置が低い光源（漁火）
・不知火は近年、観測困難な状況にあるが、この主な原因は禁漁により漁火がないこと。もし、現代でも漁火があれば不知火が発生し、観測できるかもしれない。

１　はじめに～不知火とは何か？～（文献より）

（「不知火新考（立石巌、1994）」、「不知火の研究（山下太利、1994）」）
・Where: 不知火海（宇城市不知火町の永尾神社の観望所から大島方面を観測）
・When ： 八朔（旧暦８月１日）の未明
・What ： 漁火や対岸の街明かりなどの光源
・How ： 光源が盛火となり、その後横方向に分火し、つながるように見える
・Why ： 不知火海上の温度差による異常屈折４０年ほど研究・観測がされておらず、まさに誰も知らない現象といえる。

図　不知火の発達過程
（「不知火新考（立石巌、1994）」より参考）

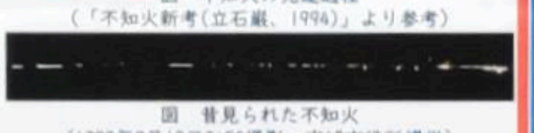
図　昔見られた不知火
（1988年9月13日2:50撮影、宇城市役所提供）

２　研究の目的

６年間の研究の中で現状、原理、再現という３つの疑問が生じた。今年度は以下の探究の問いを元に、不知火の実態、発生・観測条件に迫る。
疑問１：現状 今、不知火は見られるのか？　疑問２：原理 観測した現象の原理は？
疑問３：再現 不知火は再現できるのか？

３　疑問１：今、不知火は見られるのか？

（１）前年度の研究結果の訂正

昨年の科学展にて、八朔に観測した光源が縦につながる現象を不知火であると発表した。

しかし、①他の観測記録を見ても、毎回同じ位置の光源が繋がって見えていた。また、②対岸で光源を確認すると、海岸付近の街灯の光が支柱に反射していた。これらのことから、この現象は不知火ではないと分かった。光源により照らされた支柱と光源が、さらに下位蜃気楼（浮島現象）で反転し、縦につながって見えた。

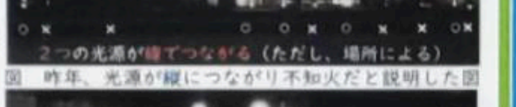

図　昨年、光源が縦につながり不知火だと説明した図

図　支柱が照らされて縦につながって見える街灯

（２）昨年度の観測

観測は令和４年の八朔（８月27～28日）に以下の要領で写真・動画の撮影及び気象データの計測を行った。

①方法
ア　場所：永尾鍛神社
イ　方向：永尾→八代大島方面
ウ　地点：観望所（９ｍ）、海岸（１ｍ）
エ　観測時間：八朔の日の21時～翌日６時（計９時間）

図　観測の様子、観望所と海岸

図　観測方向（国土地理院より引用・加筆）

②結果
大島付近の光源の数が０個→１個→２個と変化する不思議な現象を確認する事が出来た。しかしながら不知火のような現象を確認する事は出来なかった。

図　光源の数が時間変化によって増えていく写真

（３）今年度の観測

今年度は朔・望の時期に計４回の観測を行った。また、写真・動画の撮影に加えて、気温や海水温及び風向風速の計測を行った。前年度と同様の方法で行い、光源の数が変化する現象は見られたものの、不知火は今年度も見ることができなかった。６年間で合計23回もの観測を行ったが、不知火を見ることができなかったことから、現在は不知火を見ることはできなくなってきているのではないかと考えた。

図　気温計測の様子と風向風速計、今年観測できた光源が増えていく現象

光源が横につながって見える不知火は近年、観測が困難な状況にある。

４　疑問２－Ａ：観測した現象の原理は？

（１）不知火海で発生する蜃気楼の概要

干潮時刻前ごろ、不知火海では光源が上下に反転する下位蜃気楼が見られていた。下位蜃気楼は上下の空気の温度差によって生じる密度の差により見られる。媒質の密度の差によって、直進する光と屈折する光の二つが目に届くことにより、光が上下に反転して見える。

図　屈折の法則（ホイヘンスの原理、下位蜃気楼の説明
（『総合物理２（数研出版株式会社）』より参考

（２）シミュレーションのデータ収集

蜃気楼協議会の森川浩司さんから頂いたシミュレーションプログラム（R言語）を用いて観測時に見られた現象の光路図を作成した。プログラムは森川さんが松井さんのプログラムを元に改良なされたもので、ホイヘンスの原理およびスネルの法則が用いられている。

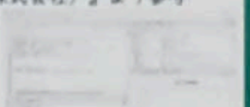
図　プログラム実行時の様子（R Studio）

不知火海の状況を再現しシミュレーションを行うため、光源までの距離、光源の高さ、表面海水温、海面上の温度分布の4つを集めた。光源までの距離は12.5kmとし、光源の高さを６ｍ、表面海水温を29℃とした。海面上の温度分布の計測は困難であるため、右図のようにヒーター上の温度分布を計測することで対応した。

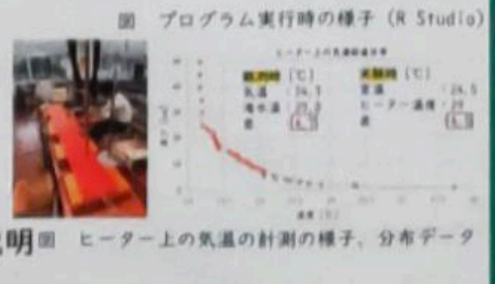
図　ヒーター上の気温の計測の様子、分布データ

（３）シミュレーションを用いた光路の説明

①海面と気温に温度差が生じる場合

等温大気中で直進する光であっても、高さ０ｍを基準としてグラフ化すると曲げられているかのように表される。これは「地球の丸い効果」によるものだ。

大気と海水とに温度差がある場合は、海面近くを通過する光は、温度差により上向きに屈折する。よって、直進光と屈折光の２つで下位蜃気楼が見られる。

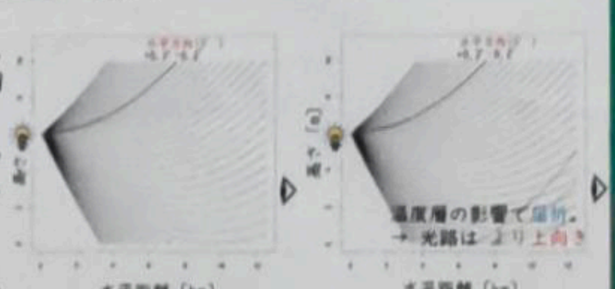

図　シミュレーションによる光路再現（左：等温、→：温度差あり）

②観測点の高さによる違い

観測点の高さが低い（海面に近い）と、海面近くの光は屈折して上へと曲げられてしまい目に光が届かなくなるため、見ることができない（光源数は０個）。観測点の高さが少し高くなると２つの光源が重なり１つの光源に見え、さらに高くなると光源が２個で下位蜃気楼となる。さらに高くなると、直進する光だけが目に届くため、光源が１つ見える通常の状態となる。

③観測時の光源と観測点の高さの変化

観測時、不知火海では約３ｍもの干満差があった。この干満差により海面を基準とすると、光源の高さと観測点の高さが時間経過で相対的に変化することとなる。これらを踏まえて、シミュレーションを行った。

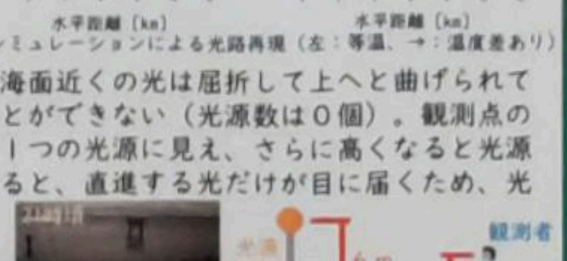

図　観測時の不知火海の潮位変化の様子

結果、満潮時には観測点が低いため光が目に届かず、光源が０個に見える。潮が引くにつれて光源、観測点ともに高くなり、光源数が１個→２個と徐々に変化する。

以上のことから、観測された現象は不知火海の大きな干満差による潮位変化で、光源の高さや観測点の高さが時間によって変化することで生じる浮島（下位蜃気楼）現象であると言える。不知火海では、不知火が見られなくなっている、という現状が明らかになった。

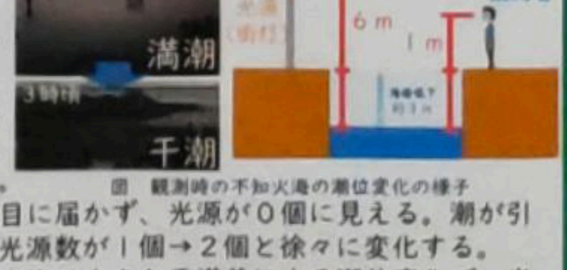
図　観測時の潮位の時間変化による光路の違い（観測点：海岸の場合）

光源の数が変化していく現象は、干満差の大きな不知火海で潮位変化によって起きる「浮島現象」である。

５　疑問２－Ｂ：現代、光源が漁火だったら

④光源の高さが変化すると

光源の高さを５ｍ、３ｍ、１ｍと徐々に低くしていった。光源が低くなると、光が曲げられる空気の層（以下、温度層）の影響が大きくなることで光がより一層屈折する。

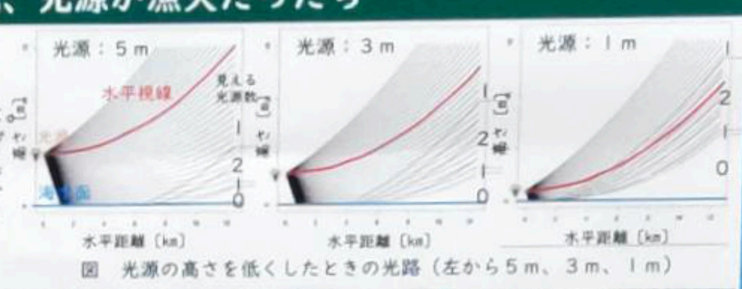

図　光源の高さを低くしたときの光路（左から５ｍ、３ｍ、１ｍ）

⑤光源が漁火だったら

現在は、光源として対岸の街明かりを見ている。しかし、松合漁業組合の方のお話によると、不知火は漁を行う際に用いる光である、漁火を光源として見ていたとのことだった。さらに、松合の坂本酒屋さんへ聞き込みを行うと、禁漁が20年前から始まったとのことだった。このことから禁漁によって漁火が見られなくなったため、不知火も見えなくなっていったのではないかと考えた。

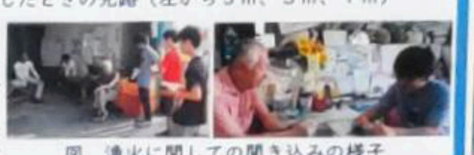
図　漁火に関しての聞き込みの様子

これらを踏まえて光源が漁火だった場合のシミュレーションを行った。漁火は、海面付近の光源であるため、高さを１ｍであると仮定した。また、観測点は③同様相対変化するものと考えたが、海面が低くなっていくにつれて、光源も低くなっていくものとしてシミュレーションを行うと、約９ｍ付近が光源がつに見える高さとなった。

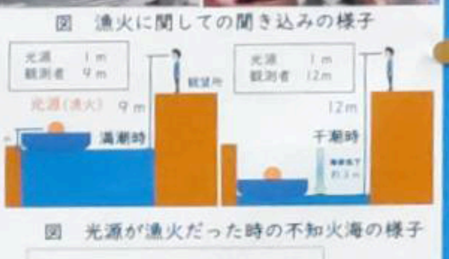

図　光源が漁火だった時の不知火海の様子

この高さは、海岸から観望所までの高さと一致している。このことから不知火を海岸で観測しようとしても、光が曲げられてしまって、海岸に届かないため永尾神社の観望所などの、少し高い場所で観測を行うと現代でも不知火を観測できるのではないかと考察した。

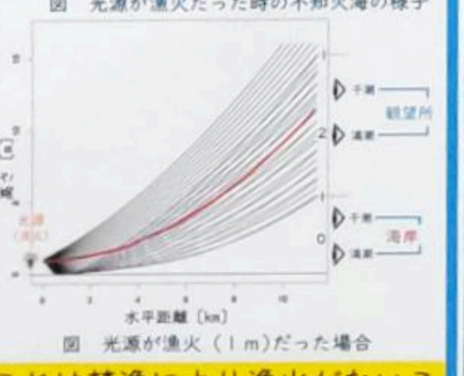

図　光源が漁火（１ｍ）だった場合

不知火は近年、観測困難な状況にあるが、これは禁漁により漁火がないことが主な原因では？漁火があれば現代でも不知火が見られるかもしれない。

６　疑問３：不知火は再現はできるのか？

（１）方法・工夫

不知火観測が困難な状況にあるため、シリコンラバーヒーターを用いて不知火海に見立て、不知火の再現を試みた。

シリコンラバーヒーター（50cm×４枚）は金属板と異なり、均一に加熱できる。また、調温でき、今回は100℃に設定。

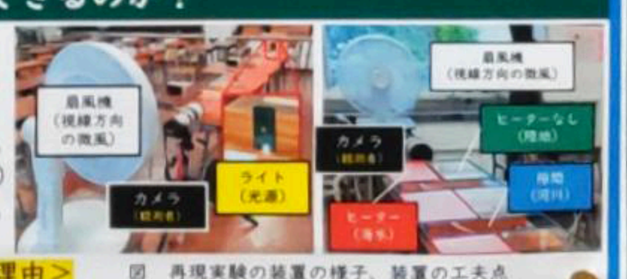

図　再現実験の装置の様子、装置の工夫点

＜不知火の再現のための工夫点とその理由＞
①カメラの位置はヒーターの端。←　観測点から見て、左右での温度差をつくるため。
②ヒーター間は、隙間を開ける。←　不知火海に流れこむ冷たい河川を再現するため。
③カメラ後方から微風を流す。←　観測点の永尾では八朔に弱い北風が吹くため。
⇒左右の温度差により側方蜃気楼を再現し、さらに、ヒーター間の隙間と視線方向の微風により、境界部で温度のムラをつくり、不知火へと発展させる。永尾で大島方面から干潟上を進み異常屈折する光を観測する不知火を見ている状況を再現するねらい。

（２）結果

数十回、実験を行ったが、横に分火する側方蜃気楼は再現できなかった。これは、光を曲げる光路の距離が不十分なためだと考え、ヒーターの長さを２ｍから倍の４ｍに伸ばした。すると、不知火の再現に成功し、鮮明な写真や動画の記録ができた。

図　ヒーターの長さを４ｍに伸ばした時の全体像と器具の位置関係

下図①は、ヒーターの電源を入れる前の様子である。ヒーターをONにすると、光源が横に分火し、②のような側方蜃気楼が見られた。そして、扇風機で視線方向の微風（３ｍ地点で0.65m/s）を流すと、横につながり伸縮して不知火へと発展した。さらに風を強くすると、光源は④のように下に分火し、下位蜃気楼となった。

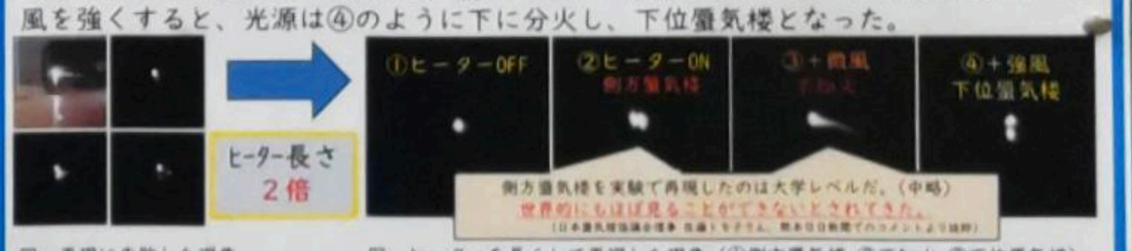

図　再現に失敗した現象　　図　ヒーターを長くして再現した現象（①側方蜃気楼、②不知火、③下位蜃気楼）

実験から「海水温と気温との十分な温度差」によってできた温度層に「左右の温度差」と「視線方向の微風」とが“温度層”のムラを異常屈折を引き起こし、不知火を発生させると分かった。再現した現象の光路は下図のようになっていると考えられる。

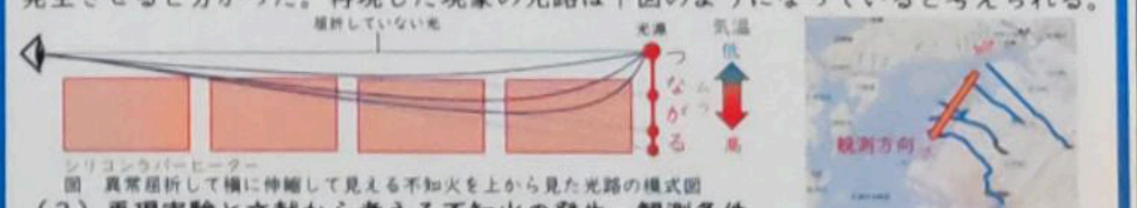

図　異常屈折して横に伸縮して見える不知火を上から見た光路の模式図
（はかまだ地球儀の場合 加藤ヒサオさん、熊本日日新聞「のカメラ」より抜粋）

（３）再現実験と文献から考える不知火の発生・観測条件

実験から不知火の発生には、①不知火海の海面水温と気温に十分な温度差があること、②冷たい河川の流入、③広大な干潟の分布、④視線方向の微風の４つの要因による“温度層”のムラが必要であることが分かった。

また、観測は左右の温度差がある地点（右は海で左は陸、間に干潟）で、海岸より少し高い位置で行う必要がある。

図　不知火海の干潟と河川の分布（地理院地図に加筆）

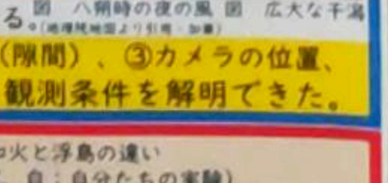
図　八朔時の夜の風（地理院地図より引用・加筆）　図　広大な干潟

装置を工夫すること（ヒーターの①長さ、②おき方（隙間）、③カメラの位置、④視線方向の微風）で不知火の再現に成功し、発生・観測条件を解明できた。

７　まとめ・今後の展望

（１）まとめ

●不知火の発生・観測条件
①表面海水と気温との温度
②冷たい河川と広大な干潟
③視線方向に微風
④海岸より少し高い位置での観測
⑤漁火のような位置が低い光源

●不知火は近年、観測困難な状況にあるが、漁火があれば不知火が発生し、観測できるかもしれない。

表　不知火と浮島の違い
（先：先行研究、自：自分たちの実験）

	条件	不知火	先	自	浮島
観測	場所	不知火海のみ	△	○	どこの海でも
	方向	永尾 → 八代方面（八代方面に光源、背景に海）	○	◎	
	時期	八朔	△	△	夏 特にない
	時間	夜	△	○	早朝
	可否	難（高）	△	○	難色全体
	観測点の高さ	少し高い場所（1ｍほど）	△	○	海岸付近（低位置）
	潮位	引いて潮が引き干潟時にかけて	○	◎	満潮時
発生	現象	横に分火（側方蜃気層）＋伸びる＋（視線方向）	△	○	下に反転（下位蜃気層）
	時間変化	明滅し、時間帯で変化	○	◎	変化が激しい
	光源数	横方向	○	◎	上下方向
	気温のムラ	あり（干潟、海方に河川、進境の風、地形）	△	○	なし
	風	微弱で強風	○	◎	影響なし

（２）今後の展望

◆人工的に船を出して漁火を灯してもらい、不知火の観測・撮影を行う。
◆気温のムラについて“温度層”の可視化および構造の観察。　◆八朔の時期の謎。

８　謝辞・主な参考文献

本校教諭の本多栄喜先生、宇城市役所や永尾神社の方、不知火についてお話して下さった永尾神社宮司の丸目公一さんや地元酒屋の坂本さん、シミュレーションにご協力下さった気象予報士の森川浩司さん、学会でご助言を下さった先生方など多くの方々に、この場をお借りして感謝を申し上げます。

・川合秀明、北村祐二、柴田清孝（2020、下位蜃気楼の光路計算－マグガスカルで見た蜃気楼－）
・「不知火」の再現学士高校生が成功（朝日新聞 熊本版 朝刊 10月25日23頁）
・“埋没林”と“蜃気楼”、富山湾のふたつの不思議に出会える博物館
・不知火新考（築地書館株式会社 立石巌）　・不知火の研究（草書房有限会社 山下太利）
・文献集　不知火（不知火資料収集委員会）　・北海道・東北蜃気楼研究HP
・熊本県水産研究センター　・八代千拓の～我が田は緑なり～
・気象庁　・地理院地図　・『総合物理２』（数研出版株式会社）

写真・動画・気象データの動画、写真の使用可