高等学校 102

知らない現象（不知火現象）を科学する４

～３つの問い（疑問）から不知火を探究する～

熊本県立宇土高等学校　１年　新宅 草太　徳丸 亮汰　本田 琢磨　小林 瑞

熊本県知事賞

【研究概要】 今年度は、これまでに研究を進める中で生じた３つの問い（疑問）を解決するため、観察や実験などを行った。不知火の発生メカニズムの解明を進めた。

問い①：「時期：なぜ、八朔なのか？冬は見られないのか？」

気象庁や水産研究センターの公開データを調べ、不知火海の海水温の変化に関する特性を調べた。また、冬の不知火観測を試みた。

不知火海、特に湾奥部は遠浅のため、水温が変化しやすい。八朔後は、急激な気温低下や台風の影響で海水温が急激に低下する。よって、八朔は“温度層”*が発達するため観測できるが、冬は不知火が見られずに寒くて観測に適さない。　＊“温度層”…本研究で海面や地面による影響で気温変化する空気層と便宜上定義した造語である。

問い②：「現象：単なる夜の浮島なのではないか？」

八朔などに不知火観測を行いデータを追加した。また、観測結果の特徴をまとめ、食塩水やヒーターの実験、教科書や論文を元に発生原理を科学的に説明できないか考えた。観測の中で、見える光源数が０→１→２と増える現象は、温度層による屈折と地球が丸い効果によって引き起こされ、浮島で説明ができる。場所によって２つの光源が線でつながる現象は、浮島で説明できず、不知火と考えられる。不知火は、浮島＋αの現象であり、単なる夜の浮島ではない。昔は観測は位置が海岸から少し高い観望所がよいとされたが、昔は光源が漁火であり、高い位置から出なければ見ることができなかったから、というのが理由の一つと考えられる。

問い③：「再現：今では観測が困難な不知火は、再現できないのか？」

ヒーターの実験を行い、“温度層”の厚さと、温度差や風との関連性について明らかにした。また、不知火の再現を試み、観測点の高さと発生メカニズムについて考えた。

“温度層”は、海面温度が高い、また、風が通度（微風）だと厚くなることが分かった。観測で見られた光源が線でつながる不知火は、風を用いることで再現に成功した。

よって、不知火は、八朔頃に不知火海を吹く弱い海陸風で形成されたムラのある“温度層”で生じる異常屈折現象である。

１　はじめに～不知火とは何か～

（「不知火新考（立石巌、1994）」、「不知火の研究（山下太利、1994）」）

- ・時期　：八朔（旧暦８月１日）の晩
- ・場所　：宇城市不知火町の永尾神社の観望所（海岸から少し高い位置）
- ・方向　：南南西方向の八代市の大島方面
- ・光源　：昔は漁火、現在は街明かり
- ・現象　：蜃気楼の一種

図　不知火現象の発達過程（立石巌、1994）

２　昨年度の成果

（１）“温度層”の存在を確認。

（２）八朔は、海陸風がよく吹いており、不知火の発生原因の１つではないか。

（３）八朔は、海水温と気温の温度差が大きくなる。
ただ、冬の方が大きいので、不知火が見られるかもしれない。

（４）八朔での観測は４年連続愚天候で不可。昔と比べ温暖化し、降水量が増加。

３　目的：不知火に関する探究の問い（疑問）

３年間の研究を通して、時期、現象、観測点の高さ、の３つに疑問が生じた。今年度の目的は、以下の問いを解決し、不知火の発生メカニズムを解明することである。

A　探究の問い１：時期　… なぜ、八朔なのか？冬は見られないのか？

B　探究の問い２：現象　… 単なる夜の浮島なのではないか？

C　探究の問い３：再現　… 今では観測が困難な不知火は、再現できないのか？

４　内容　A　探究の問い１：時期 … なぜ、八朔なのか？冬は見られないのか？

（１）不知火海の特性　仮説：気象庁の日別データより不知火海は夏高く、冬は低いのではないか？

① 海水温の計測

夜間での計測は危険で注意が必要。不知火海内での計測は船が必要。沿岸では計測できるが、潮が引くと不可。そこで、干潮時は、近くの松合漁港に移動し計測。永尾と松合、同じ海岸でも場所が異なると水温の値が1℃ほど異なる。

② 日別公開データ：気象庁

日本近海や東シナ海の広域での海面水温や平年差を毎日公開。令和４年の夏（６月～８月）は日本近海の平均海面水温が統計開始以来、最も高い記録であったとされている。（気象庁より引用）

ただ、不知火海といった局所的な狭い範囲について知るには、分解能が小さすぎる。昨年、気温と海水温の１年間での変化を調べるために、海水温は気象庁のこのデータを目測して数値化し、グラフを作成したが、参考値としての活用と考えるべきである。

③ 海水温の24時間公開データ：熊本県水産研究センター

20分間隔で、海面下50㎝での水温、塩分、比重、クロロフィル蛍光値（長洲沖のみ）のデータが公開。

しかし、地点は有明海3地点、不知火海では1地点のみ。

調査頻度：月１回（新月の大潮時）
調査地点：有明海18調査地点
　　不知火海20調査地点
調査項目：水温・塩分（水深５m）
　　プランクトン沈殿量

④ 地点の多い公開データ：熊本県水産研究センター

毎月「海況情報」として、有明海と不知火海に関した調査地点の多いデータも公開されている。このデータを元に、表層水温の月別変化をグラフ化した。

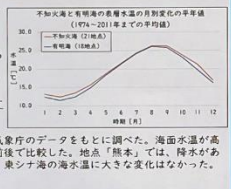
＜不知火海と有明海の水温について＞

- ・８～９月が最高、２月が最低
- ・八朔は一年で最も高い時期
- ・不知火海の方が有明海と比べ、少し高い傾向にある

＜不知火海内での地点比較＞

湾奥部（北東部）の方が、内部（南西部）と比べて、夏が高温、冬が低温となる傾向。

よって、不知火海は、湾状であり海水温が変化しやすいことがわかる。



（２）表面海水温の低下要因… 前線？

前線通過の前後で海面水温が変化するのかどうかを気象庁のデータをもとに調べた。海面水温が高い令和４年８月１８日に日本列島を通過した前線通過前後で比較した。地点「熊本」では、降水がより、気温の低下し、風向等の変化の影響がみられるが、東シナ海の海水温に大きな変化はなかった。

よって、前線が海水温に与える影響は小さい。

（３）表面海水温の低下要因… 台風？

令和４年は、ラニーニャ現象の影響からか、多くの台風が発生し、日本に影響を与えた。７，８月に予定していた七夕、七望の不知火観察は台風による影響のため、観測ができなかった。特に、９月は、毎週末台風が発生し日本付近にやってきた。台風11号は東シナ海を北上し、令和４年９月６日に九州に最接近した。気象庁から、表面海水温とその平年差のデータを調べると、台風通過により、東シナ海全域で表面海水温は低下し、平年差より高い状態だったのが、低い状態へと一気に変化した。

このことから、台風は表面海水温に影響を与え、水温を低下させることが分かった。

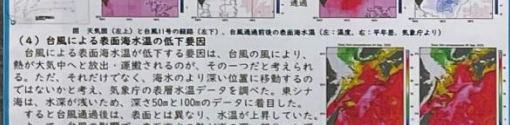


図　天気図（左上）と台風11号の経路（左下）、台風通過前後の表面海水温（左：温度、右：平年差、気象庁より）

（４）台風による表面海水温の低下要因

台風による表面海水温が低下する要因は、台風の風により、熱が大気中へと放出・運搬されるのが、その一つだと考えられる。ただ、それだけでなく、海水の上り深い位置に移動するのではないかと考え、気象庁の表層水温データを調べた。東シナ海は、水深が浅いため、深さ50mと100mのデータに着目した。

すると台風通過後は、表面とは異なり、水温が上昇していた。

よって、台風の影響で、表面海水の熱が海の深い部分へと運搬されたことで、深い部分は温度上昇し、逆に海面付近は温度低下すると考えられる。

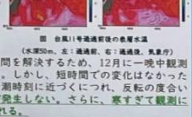


図　台風11号通過前後の表層水温
（水深50m、左：通過前、右：通過後、気象庁）

（５）冬の不知火観測

八朔より冬の方が地下の不知火が見られるのではないかと疑問を解決するため、12月に一晩中観測を行った。観測の結果、とてもよく反転した蜃気楼が見られた。しかし、短時間での変化はなかったので、不知火ではなく、浮島であると考えられる。さらに、干潮時刻に近づくにつれ、反転の度合いが小さくなり、浮島が不明瞭になった。よって、冬は不知火が発生しない。さらに、寒すぎて観測に適さないため、不知火の観測は冬ではなく八朔であると考えられる。

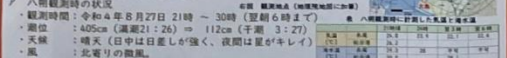


図　冬の下位蜃気楼（2021年12月04日、永尾地界、気温：5.0℃、海水温（松合漁港）：12.3℃、左：21:04、右：2:25）

B　探究の問い２：現象 … 不知火は、単なる夜の浮島なのではないか？

これまでの研究で、夜に見られる不知火と昼間の浮島は、とてもよく似た見え方をしており、「不知火は、単なる夜の浮島なのではないか」という疑問が生じた。

（１）今年度の不知火観測

今年度の観測も含め、５年間の観測で分かった不知火と浮島の違いは下表のとおりである。短時間での変化（潮位変化とは異なる周期性のもの）や観測点の高さ、という点で違いがある。

①方法

ア　場所：永尾神社・海岸

イ　方向：永尾 →　八代の大島方面

ウ　地点：観望所（9.0m）、海岸（1m）

エ　観測時期：八朔頃の朝や夕

②結果（八朔での観測は５年目の正直）

ア　八朔観測時の状況

- ・観測時間：令和４年８月27日 21時 ～ 30時（翌朝６時まで）
- ・潮位　：405㎝（満潮21：26）⇒　112㎝（干潮　3：27）
- ・天候　：晴天（日中は日差しが強く、夜間は星がキレイ）
- ・風　：北寄りの微風。
- ・気温・海水温：放射冷却で日の出（5：50）にかけて低下。温度差は大きかった。

イ　４年間の観測結果と観測点の高さ

今年度は、八朔の観測を含め４回の記録を追加した。これらの観測から、観測初めの満潮時頃は、観望所がよいが、それ以降の潮位が下がった状態の時間帯では、海岸の方が良く、最適な観測の高さは変化することが分かった。

ウ　４年間の観測結果と観測点の高さ

４年間の観測から、観測初めの満潮時頃は、観望所がよいが、それ以降の潮位が下がった状態の時間帯では、海岸の方が良く、最適な観測の高さは変化することが分かった。

図　観測場所の高さの違い

図　八朔観測時の位置関係（地理院地図に加筆）

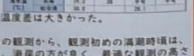


表　八朔観測時に計測した気温と海水温

	21時頃	24時	翌３時	翌６時
気温	26.8	25.5	25.1	24.5
海水温（観望所）	26.3			
海水温（海岸）	26.3	26	25.8	25.7
海水温（松合）	26.3		26.1	

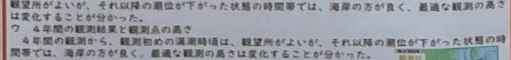


表　４年間の観測結果と観測点の高さ

	年月日	時期	潮位	観測時間		観望所 or 海岸
1	2019/08/31	七望	5/29	23:00～26：00	×	観望所
2	2019/08/31	七望	5/3	20:00～27:00	×	観望所
3	2019/08/29	八朔	5/24	19:00～26:00	×	
4	2019/09/14	八望	6/16	14:00～20:00	×	海岸
5	2020/08/02	八望	6/3	19:00～26:00	×	
6	2020/08/04	八望	6/15	4：00～29：00	×	
7	2020/08/31	八朔	5/4	25：00～30:00	×	観望所 → 海岸
8	2020/10/03	八望	6/17	24：00～32：30	×	海岸
9	2020/10/31	九朔	5/21	24:00～28:00	×	観望所 → 海岸
10	2020/10/30	九望	6/14	23:00～25：00	×	海岸
11	2020/11/14	十朔	5/24	23:00～26：00	×	観望所
12	2021/07/27	七望	6/18	24:00～28：00	×	海岸
13	2021/08/29	八朔	5/3	23:00～28:30	×	海岸
14	2021/10/28	九朔	5/3	23:00～30:00	×	海岸
15	2021/12/04	十六朔	11/6	23:00～31:00	○	観望所 → 海岸
16	2022/08/27	八朔	6/1	21:00～30:00	○	観望所 → 海岸
17	2022/09/26	九朔	6/15	20:30～30:00	○	観望所 → 海岸
18	2023/09/28	九朔	5/29	20:00～30:00	○	観望所 → 海岸

図　八朔観測時の天気図
（令和４年８月27日21時、気象庁）

図　盛況と考えられる現象
（2022.08.27 20:02
永尾地界から見た大島の右側）

ウ　撮影記録

i　光源が明滅し、反転して２列になって見えた。干潮時刻頃、冬ではあまり浮いて見えなかったのに対し、八朔では肉眼でもわかるほどよく反転していた。

図　八朔の干潮頃の蜃気楼の様子（2022.08.28 2:15、永尾地界から見た大島の右側）

ii　光源が時間の経過とともに、「見えない→ 大きな１つの光源（盛火!?）→ 反転して縦に２つ → 線でつながる」と変化した。

よって、昔と比べて、現象としては弱いが、不知火を観測できたと考えられる。

iii　１つの光源が盛り上がって明るく見える現象が見られた。文献で「盛火」とよばれる現象と考えられる。

図　２つの光源が線でつながって見える現象（2022.08.28 1:19、永尾地界より、大島の右側）

よって、不知火は浮島＋αの現象であり、単なる夜の浮島ではない。

（２）発生原理

① ホイヘンスの原理（屈折の仕組み）

高校物理の教科書には、光の屈折の法則が書かれており、関係式から光の屈折には、速さが関係していることがわかる。さらに、屈折の法則は、波が球面波として伝わるホイヘンスの原理を用いて説明ができている。蜃気による速度の違いにより、境界面で光は速度の遅い方へと屈折する。浮島などの下位蜃気楼の説明もある。光速は、大気の密度差により変化する。海面付近では、気温勾配が大きいので、光は気温の低い上空へと上向きに屈折する。観測者には屈折していない光に加え、下から屈折した光が目に届くので、倒立の虚像が物体の下に反転して見える、下位蜃気楼が発生する。

② 水溶液中での光の屈折実験（食塩水の水槽実験）

食塩水を用いて、水溶液中で密度差によって光が屈折することを確かめる実験を行った。水槽の水に過飽和の食塩水を入れ、１日放置しているため、密度差が生じている。レーザー光を入射させると写真のように、密度が高い方へと屈折していたのが分かる。

図　食塩水で高密度の方へ屈折する光（写真は上下逆）

図　均一に加熱するヒーターと蜃気楼

③ 気体中での光の屈折実験（シリコンラバーヒーターでの実験）（左：可視画像、中：赤外画像、ヒーターで加熱する前後を比較）

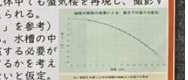
気体中で光が屈折するのかを確かめる実験を行った。昨年度は、ガスバーナーを用いて金属板を加熱して再現しようとしたが、再現・撮影はできなかった。今回は、シリコンラバーヒーター（２m）で下層の空気を暖め、上冷下暖の状況を人工的につくり、浮島（下位蜃気楼）を再現した。

サーモカメラを見ても、均一に加熱されていることが分かる。気体中でも蜃気楼を再現し、撮影することができた。均一に加熱したことが、成功につながったと考えられる。

④ 地球の形の考慮（「地上から見渡せる距離 - 高精度計算サイト」を参考）

実際の野外での観測と室内実験との違いは、空間スケールである。水槽の中は平らだが、観測では遠くを見ているので、地球が丸い効果を考慮する必要がある。直進する光に対して、地球の表面がどのような高さに変化するかを考えた。地球を半径r＝6378kmの球体とし、見渡すエリアに障害物がないと仮定。三平方の定理で、見通し距離dが求まる。これをグラフ化する。

さらにそれを、丸い地面を基準としたグラフに変換すると、直進する光が、地球の形の影響で上向きに進む光路のグラフとなる。



⑤ シミュレーション（川合ほか（2020）より引用）

実際の現象を考えるためには、室内実験での光路と、地球の丸い効果を合わせて考える必要がある。そこで、シミュレーションに関する川合ほか（2020）による論文を参考にした。論文では、下位蜃気楼を発生させる海水温を28℃とするなど、このような設定で光路計算をされている。大気と海水はＬＥＳという乱流により熱が移動するという設定で、計算結果は簡単から時間後の光路を表している。

右図は、海水と等温大気での場合である。光源は１ｍの高さで、その光が−0.1°～+0.03°の範囲でどのように進むか、0.01°刻みで書いてある。

よって、上から４番目の光路が水平視線を表す。光路は上向きに曲がっており、地球の丸い効果が表れている。

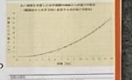


図　光路計算結果（上：LESの設定、下：気温：28℃（等温大気）、風速1m/s、（川合ほか（2020））

⑥ 論文（川合ほか（2020））を元にした観測現象の光学的メカニズム

【観測した不知火現象等】

・最適な観測点の高さの変化：　初めのみ観望所　→　その後、海岸

・光源：見えず（なし）　→　大きな１つの光源（盛火）　→　反転して縦に２つ　→　線でつながる

i　観測開始頃（満潮時頃）　観測　海岸：光源が見えない。　観望所：よく浮いて見える。

満潮時刻頃、潮位は高いので、光源の位置が低いとの図で考える。高さ０ｍは海面とみなす。観望所では浮島が見えるが、海岸では、光源が見えない。

ii　潮が少し引いた頃（観測者は海面からの位置が高くなる）

観測　海岸　：明るい光源（盛火!?）が見える。　観望所：浮いて見える。

潮が引くにつれて、ｉの時と比べ、海面から観測者の高さが相対的に高くなる。すると、観望所だけでなく海岸でも浮島が見えるようになる。

iii　更に潮が少し引いた頃（光源・観測者は海面からの位置が高い）

観測　海岸　：浮島がよく見える。光源が２つ。　観望所：あまり浮いて見えない。

さらに、潮が引いた干潮時頃を考える。潮位の低下により、光源の位置が海面から高くなったことになるので、光源の位置が高い図で考える。すると、観望所では、浮島が見えなくなる。海岸では、浮きが弱くなるが、浮島現象は見える。

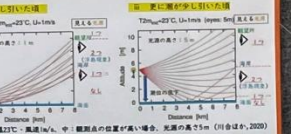


図　シミュレーションでの光路計算結果（左：光源の高さ１m・気温23℃・風速1m/s、中：観測点の位置が高い場合、光源の高さ５m（川合ほか、2020）

（３）観測点の高さについて

海岸が整備されたのは最近で、昔の夜の海岸での観測は危険だったから、という理由の他に、昔と今の光源の違いが原因だと考えた。現在は八代方面の対岸の街明かりを光源として、蜃気楼を観測しているが、昔は漁火であった。漁火は、光源の位置が海面近くと、位置が低くなる。

よって、光源が位置の低い漁火の場合には、高い位置から出なければ光源を観測することができないので、海岸よりは位置の高い観望所がよいとされていたのだと考えた。ちなみに、現在は、八朔の時期は禁漁とされているため、不知火観測の時間帯に漁火が観測できるかの確認は難しい。

（４）科学的説明：２つの光源が線でつながる現象

まず、屈折していない光が目に届き、光源が見える。

そして、“温度層”により光が屈折され蜃気楼を引き起こすので、実像の下に虚像が見え、光源が２つに見える。これらが、つながって見えるということは、間にも光源があるように見えるということである。右図のようにして、無数の光源からの光が届くので、つながって見える。ただ、光路を見ると、“温度層”では異常な屈折が起こっているということになる。つまり、“温度層”では気温変化は一様ではなく、ムラがあるということである。よって、この現象は浮島ではなく、不知火と考えられる。よって、不知火は、ムラのある“温度層”によって生じる異常屈折現象である。

C　問い３：再現… 今では観測が困難な不知火は、再現できないのか？？

昔と比べ不知火が発生しにくい今、発生原因である“温度層”に着目した。また、八朔頃は夜は弱い陸風（観測地点では通い風）が吹くという特徴があるので、風との関連も調べ、再現を試みた。

（１）実験１：温度差による“温度層”の厚さの違い

ヒーターを海面に見立て、その上の気温の鉛直分布を調べ、温度差と“温度層”との関係を明らかにする。各高さで、３つの気温データを取り、平均したものからグラフを作成した。海面（地面）の温度が高く、気温との温度差が大きいほど、“温度層”は厚くなることが分かった。

右図　ヒーター上の気温の鉛直分布（実験１）

（２）実験２：風による“温度層”の厚さの変化

ヒーターに風を送り“温度層”の厚厚さ調べた。風速は風力計を用い、回転数から算出。

実験や文献（川合ら（2020））から、風がある方が“温度層”は厚くなり、さらに、風が強すぎると逆に、“温度層”は薄くなってしまうことが分かった。

（３）再現実験：２つの光源が線でつながる不知火の再現

100℃のヒーターに扇風機で視線方向の風（0.65 m/s）を送り、その先のスマホのライトの見え方を観察した。２つの光源が線でつながって見える不知火が再現できた。ただ、無風や強風、視線方向ではない風では再現できなかった。

上冷下暖の不知火海を風が吹くと“温度層”にムラができ、不知火はこのムラで生じる光の異常屈折現象である。

図　不知火の再現実験（左：装置、右：光源が線でつながる様子）

５　まとめ・今後の研究

（１）まとめ

不知火は浮島＋αの現象で、２つの光源が線でつながる現象の有無で識別できる。不知火は、八朔頃に不知火海を吹く弱い海陸風で形成されたムラのある“温度層”で生じる異常屈折現象である。

（２）今後の研究　・“温度層”の厚さの計測と、層の可視化や構造の観察
・シミュレーションでの光路作成　・自作の金属板加熱装置での蜃気楼の再現

６　謝辞・主な参考文献

本校教諭の本多章良先生、宇城市役所や永尾神社の方、地域の皆様、学会でご助言を下さった先生方、ご協力ありがとうございました。

・文献：不知火（不知火資料収集会編の）　・不知火総考（国崎喜郎・立石巌）　・気象庁　・地理院地図
・川合秀明、北村祐二、柴田清孝（2020、下位蜃気楼の軌跡計算）