筆者の得た結果からも正當の様に思はれる。くはしい事はいづれ近い内に異常震域と結びつけて報告したい。

§14. 結 尾

以上甚だ粗雑ではあつたが、ブロックの存在が地震波の傳播の問題に重要な意味を有して居る事を示した。在來の連續的の考へは第一近似として許る可きであるが、現在の如く進んだ地震學にとつては更に第二近似に進む可き時であらう。以上の議論はその第二近似への第一歩の積りで居るが、まだ不完全なものであり、例へばエネルギーの傳播にしても近い所ではすくなくも波として擴がると見た方が適當であるが、此の様な事は將來に残された問題である。此處ではブロックより見た一面を純粹に摘出したやうなもので、將來此の方面への進出に何等かの刺激にでもなれば筆者の本望である。

最後に、此の仕事の間、始終御激勵、御指導を賜はりし、岡田臺長先生、藤原先生、有益なる御指導、御助言を下さいました本多先生、和達先生其の他の諸兄に衷心よりの謝意を表したい。

不 知 火 の 研 究*

宮 西 通 可

神祕と詩的事蹟に富める不知火は餘りにもよく世間に知られてゐる名である。然し實際之を目撃した者少く、又世人一般の之に對する認識も甚だ漠然としてゐる。尙日本書紀景行天皇紀に既に記されてゐて我が國で最も古い記録を有する物理學的現象とでも言ふべきであるにも拘らず、現象そのものに就いて全く研究されてなく、唯不知火は漁火なりと言ひ、或は夜光蟲なりと簡単に説明せられてゐる許りである。而かもそれは最近宣傳せられてゐる有明海の不知火も含まれてゐるのである。古來神祕性を有し驚嘆を以て眺められて來たものは、八代海（不知火海）の不知火である。若し之までの研究家にして八代海の不知火を目撃したとすれば、其の光源を問題とするより先づ其の現象の奇なるに驚いたであらう。第五高等學校教授中川久知氏一行の探檢に於ても、研究の當初より不知火は海中の微生物として海水の顯微鏡的検査を行ひ、結局其の目的を達せざりしは不知火を見ずして直に光源を探らんとせし爲であると思はれる。吾々の今回の研究は最初は不知火の研究に非ずして八代海に於ける氣象光學的現象の研究であつた。此の研究中に不知火を目撃し、而もそれが從來古文獻に現はれてゐるものと全く同様の外觀を呈して居り、又土地の人人もそれが不知火であることを明言した。そこで此不知火に對して科學的觀測を續行したのである。古文獻及び最近の

* M. Miyanisi: The Study of "Siranui".

不知火の研究の結果は雑誌「科學」第7卷、第1號、昭和12年1月、36頁」を参照されたい。この觀測の結果不知火は漁火等の少數の光源が目ばたき（シンチレーション）して左右に飛散して無數の火に見える現象で未だ嘗つて⁽¹⁾報告されてゐない珍現象であることが知られた。

實驗及び觀測

(1) 海上を通過する光線の屈折。（昭和11年7月15日—18日、舊曆5月27日—6月1日）。熊本縣宇土郡松合町の六地藏、永尾及び二本松に夫々2個宛の測角用裝置を施せる倍率約20の望遠鏡を置き、第1圖に示す様に海中に2個の燈臺を設け、其の燈火を以上の望遠鏡にて眺め、其の見掛上の火の動搖を見た。其の動搖は數秒程度の長週期的上下左右の振動を行ふ其の角度小なるものにて、且つ此の實驗中不知火を認めたるを以て、總ての望遠鏡を不知火に向け、之に焦點を合はし置き、夜の明くるを待ち是等の望遠鏡の助けにより、出現の場所は縣營北新地前の干潟附近なる事を確めた。

第2日目より燈臺を不知火出現の近くの海中に移し、赤色の燈火を點じ、其の出現の場所を發動機船を以て探す。其結果光源は主として鰻或は魚類を捕ふる漁夫の持てる100乃至200燭光位のアセチレンランプであることを確め、其の數は數個に過ぎない事を認めた。然るに觀測所永尾よりは水平の方向に擴がれる無數の火に見えた。尙天體望遠鏡を持ち出し、倍率50乃至100にして不知火を見るとき極めて淺き海水中に漁する漁夫の火なることが明となつた。第2圖は不知火の寫眞の極く一部分を示したものである。

第2圖

此の觀測の結果、不知火は數個の光源が豫想せし様に光學的に不連續なる空氣層の移動により、星の如く目ばたき（シンチレーション）をし、同時に水平の方向に飛散して多くの光となつて現はれるものであることを知つた。

(2) 飛散目ばたきを見る實驗（昭和11年8月14—18日、舊曆6月28日—7月2日）

(a) 飛散目ばたきを行ふ範圍。勿論此範圍は見る場所によつて變るのである。松合町永尾神社から觀測した場合、大體第3圖に陰影線の施してある部分に不知火が現はれる。船津沖のものは午後

(1) 1. 岡田武松：氣象學，下卷。 2. 藤原吹平（岩波講座）氣象光學。 3. Pernter-Exner: Meteorologische Optik. 4. Humphreys: Physics of the Air.

9 時頃から現はれるが、火が遠方で幽かであるから美事でない。依つて今回は縣營北新地前の海に現はれるものに就いて、先づ光が飛散して目ばたきする範圍を定めた。

それが爲め第3圖に示す様に干潟の包絡線に大體直角の方向に船を進め、之に赤、白、青の順に色の異つた光を點じた。干潟上に上陸する際火の色の順序を逆にして進めた。之を永尾から眺めた時、目ばたきして2個或は數個に分裂して見える範圍を定

めた。其の結果不知火的の現象は、干潟と海水との境に引ける直線より干潟の方に現はれることが知られた。

(b) 落下寫眞乾板による飛散目ばたきの觀測。第4圖で示す(イ)の地點に100燭光アセチレンランプを3個接近して置き、其の光の像を觀測所永尾で徐々に落下する寫眞乾板の上に結び、之を寫眞した。之に用ひる寫眞レンズは焦點距離が十六糎半で、其の直径が九糎である。第5圖は8月

第 3 圖

第 4 圖

第 5 圖

第 6 圖

16 日午前 2 時半、不知火が近くに出てゐる時撮影したもので第 6 圖は其の翌日の天候の悪い日に得たものである。乾板の落下速度を縦軸に示し、飛散した距離を横軸に示してある。之によると約 300 米飛散し、而かも大氣のレンズ作用が相當に強く現はれてゐる。

第 7 圖の上部は静止乾板によつて得た不知火の寫眞で下部の星の圖の如きものは落下乾板による不知火の寫眞の一つを示したものである。これから不知火の光源は身體によりかくされたり、又ハゼ竹の陰になる等ることがあつて一層目ばたきが複雑となることが知られる。

(3) 望遠鏡に映する像と静止寫眞乾板に現はれる像との關係、肉眼にて目ばたきする一つの光に見えるものでも 50 倍乃至 100 倍の望遠鏡を通して見る時は、1 個乃至數個の第 8 圖 (I) に示す如き蝶型の火で、それが互に離合してゐる。又是等の火の水面及び海底の反射も明瞭に見える。故に寫眞の上にて第 8 圖 (II) に示す様に現はれる。而してこれらの像は急に消失するが、暫らくして又現はれる。故に目ばたきする光は、其の一つ一つが複雑なる屈折を受けてゐるのであることが知られる。

(4) 海上に現はれる不規則なる等溫線、不知火のよく現はれた朝又はよく現はれる夕刻、干潟と干潟との間の海上（第 4 圖に流線を施したる部分）及び三島の方の海面に入道雲の如き大波がある様に見える。其の後方は鏡面の如くなり、船、島及び干潟は蜃氣樓的現象を呈する。第 9 圖は干潟と干潟との間に現はれた等溫線を示したもので、此の中に於ては船影は八裂きとなつて認められなくなる。夜明に續く不知火現象を見る時、此の部分が飛散目ばたきを與へるのであることが知られた。故に海上でも一ヶ所はあるが此の部分に明き火の來ること稀なるに反し、干潟には斯くの如き部分數條現はれ、又漁火の運ばれる機會が必ずある。故に不知火が主に干潟に現はれることも明になつた。

(5) 海上に於ける氣象學的同時觀測。不知火の現はれる時刻及び其の前後を通じて陸上海上及び干潟上の諸種の觀測の結果を表に示した。尙 8 月中の觀測の結果を特に第 10 圖に圖示した。即ち

第 7 圖

第 8 圖

第 9 圖

海水の温度、海上及び干潟上の気温、干潮時、及び風向と不知火の強さとの関係を一目瞭然たらしめる爲めに作られたのが第 10 圖である。影線の長短は大體不知火の盛衰を示すのである。此の温度は主として水銀寒暖計を用ひ、又自記寒暖計も用ひた。此の表或は圖から明なる様に海水の温度は直接の不知火を與へる原因でなくて、干潟上の気温と海上との気温の差が大體一度以上あつて、

第 1 表 8 月 14 日—15 日. 干潮時午前零時 55 分. 晴天.

時 刻	海水温度	海上気温	風 向	風 速	潟上気温	地上気温	地上風向	雲 量	點 火	不知火
^h ^m	°	°		m/sec	°	°				
12.20	28.0	27.7	SW	1.0	—	—	—	—	—	出現
1.00	28.0	27.7	SW	1.2	25.8	28.0	W	少量	點火	—
2.00	28.0	27.5	SW	1.2	26.0	27.5	W	少量	—	盛
2.20	28.0	27.3	SWW	2.4	27.0	27.0	WWN	稍加はる	—	弱
2.40	28.0	27.3	W	2.5	27.3	27.5	WW	多量	減	消失

注意： 地上は観測所、點火は實驗用のランプの點火の意味である。干潮時は八代海池ノ浦の干潮時を示す。

第 2 表 8 月 15 日—16 日. 干潮時午前 1 時 55 分. 晴天

時 刻	海水温度	海上気温	風 向	風 速	潟土気温	地上気温	地上風向	雲 量	點 火	不知火
^h ^m	°	°		m/sec	°	°				
11.30	29.0	28.0	SSW	1.2	—	29.5	E	無	—	—
0.30	29.0	28.0	SSW	1.2	—	29.0	W	—	—	—
1.05	—	—	—	—	—	29.5	WWS	—	—	出始む
1.10	29.0	28.0	SSW	1.2	27.0	29.5	WWS	—	—	少量
1.40	29.0	28.0	SSW	2.4	26.0	30.1	SSW	—	—	旺盛
2.10	29.0	27.5	SSW	1.7	25.8	30.0	SSW	—	下般點火	—
2.35	29.0	27.2	SSW	2.4	25.5	30.0	SSW	少量	—	—
3.00	29.0	27.0	SSW	1.7	25.3	29.7	SSW	稍増	—	稍衰へる
3.40	28.6	26.5	SSW	1.7	—	29.5	SE	過半	乘船進行	—
4.00	28.6	26.5	E	1.7	—	29.0	E	全空を覆ふ	—	消失

第 3 表 8 月 16 日—17 日. 午前 2 時 35 分. 晴後曇雨

時 刻	海水温度	海上気温	風 向	風 速	潟上気温	地上気温	地上風向	雲 量	點 火	不知火
^h ^m	°	°		m/sec	°	°				
1.20	28.0	27.4	SW	2.7	—	26.5	E	多量	—	無
2.50	28.0	27.4	SW	2.7	26.5	26.5	E	—	點火	痕跡
3.10	28.0	26.5	SWW	4.2	—	26.0	E	雨	行進	—
3.20	27.5	26.0	SWW	4.3	25.7	26.0	E	小雨	點火	—
3.30	27.0	25.8	W	3.7	25.7	25.8	E	—	—	—
3.40	27.0	25.5	W	2.5	25.5	25.8	E	—	—	—
3.50	27.0	25.5	W	2.3	25.5	25.8	E	驟雨	—	見えず

第 4 表 8 月 17 日—18 日. 干潮時午前 3 時 10 分. 晴天

時 刻	海水温度	海上気温	風 向	風 速	潟上気温	地上気温	地上風向	雲 量	點 火	不知火
^h ^m	°	°		m/sec	°	°				
1.40	27.5	24.0	NNE	2.4	—	27.0	NE	半	—	—
2.05	—	—	—	—	—	—	—	—	—	出現
2.30	27.5	24.0	NNE	2.4	—	26.2	NE	半	—	盛
2.45	27.5	24.0	—	2.4	22.5	26.1	—	—	點火	衰へる
3.00	27.3	23.7	—	2.5	22.5	26.0	—	—	—	—
3.05	27.3	23.7	—	2.5	22.5	26.0	—	—	—	—
3.10	27.1	23.5	—	2.6	22.5	26.0	—	—	—	弱
3.20	26.8	23.4	—	2.5	22.5	26.0	—	—	—	—
3.25	26.5	23.2	—	1.3	22.2	25.9	—	—	—	—
3.30	26.5	23.2	—	2.5	22.0	25.9	—	減少	—	—
3.40	26.5	23.2	—	2.5	22.0	25.8	—	減少	—	—

第 5 表 9 月 14 日—15 日. 干潮時午前 2 時. 晴天

時 刻	海水温度	海上気温		風 向	風 速	湯上気温		地上気温	地上風向	雲 量	點 火	不知火
		乾	濕									
h m					m/sec							
12.00	27.5	25.5	23.5	S	3.3	—	—	27.0	SW	極少量	—	—
1.00	27.5	25.5	23.5	S	3.3	—	—	27.0	SW	〃	—	開始
1.30	27.5	25.5	23.5	S	3.4	24.5	23.5	26.5	SSW	〃	點火	衰へる
1.50	27.3	25.5	23.5	S	3.7	25.0	23.4	26.5	SSW	稍増	滅す	消失
2.00	27.0	25.0	23.0	S	3.9	25.0	23.4	26.5	SSW	—	—	—
2.20	27.0	25.0	23.0	S	3.2	—	—	—	—	—	—	—

注意：乾、濕は溫度計に於ける乾球、濕球を意味するものである。

第 6 表 各月に於ける海水の温度の比較

月 日	7月15日 —16日	7月16日 —17日	7月17日 —18日	8月14日 —15日	8月15日 —16日	8月16日 —17日	8月17日 —18日	9月14日 —15日	9月15日 —16日
舊 曆	5月27日 —28日	5月28日 —29日	5月29日 —6月1日	6月28日 —29日	6月29日 —30日	6月30日 —7月1日	7月1日 —2日	7月29日 —3日	7月30日 —8月1日
h m									
12.00	27.6	27.5	27.2	—	29.0	—	—	27.5	27.0
1.00	27.6	27.5	27.2	—	29.0	28.0	27.5	27.5	27.0
2.00	27.0	27.0	26.8	28.0	29.0	28.0	27.5	27.5	—
3.00	—	—	—	28.0	29.0	28.0	27.3	—	—

風が大體不知火を見る方向に吹いてゐることが不知火現象を與へる必要な條件である。而して 8 月の月が最も盛に見えたのは一つは海水の温度が一番高く従つて海上の気温も高くなることに基因するらしい。而して海水の温度が高くなる直接の原因は、廣大なる干潟に海水が浅く乗つた時、太陽熱により温められることによるものと思はれる。

結果の検討

以上の観測の結果から不知火は全く氣象光學的現象であることは確かである。而して大體見る方向に風が吹く。例へば南南西の風が吹くと干潟の冷氣、海上の温い空氣と混じ見る方向に光學的連続線を生ずる。故に第 11 圖に示す様に 0 から出た一つの光源の光でも不連続線のある部分を通じて屈折或はレンズ作用を受けて、1, 2, 3, 1', 2', 3' 等の如き位置に明い光を

第 10 圖

見るのである。即ち不知火の飛散目ばたきする現象が説明出来る。

次に他の海面上の気温も温であるから蜃気樓的現象が生じ光が二つに見えるが、尙不連続線の所で三つ以上の像を見る様に光線が屈折することもある。之で望遠鏡による像が二つ以上に見え、互に離合してゐる現象も説明出来る。

尙光線は海上で上方に屈折するから海面上から不知火は見えずして、相當高い所で之を見るのが都合が良いことも了解出来る。

次に不知火の寫眞を詳しく見ることにしよう。第12圖は第2圖に示した一部分を擴大したものである。これから不知火の寫眞は第8圖に示した様な像の集合であることが知られる。黒い點の下に薄く海面か海底の反射が現はれてゐ

第12圖

ることも認められる。

第13圖

第13圖で A は観測所、 BC は海面、 C 及び C' は不知火の現はれた場所、 h は観測所の高さ、 s は BC 間の距離、角 CAB を θ とし、

C が C' に来た爲め水平距離に ds なる變化を生じ、それからくる θ の變化を $d\theta$ とする。 A から之を見ると C' は C より dh だけ高く見えるものとする

$$\tan \theta = \frac{s}{h},$$

この兩邊を微分して

$$\sec^2 \theta d\theta = \frac{1}{h} ds, \quad \text{又は} \quad ds = \frac{h}{\cos^2 \theta} d\theta$$

が得られる。而して

$$d\theta \approx \frac{dh}{s} \quad \cos \theta \approx \frac{h}{s}$$

と見てよいから

$$ds = \frac{s}{h} \cdot dh$$

而して第 13 圖に就いて下の方の不知火は、第 14 圖で C の如き位置に現はれ、上の方は C' の如き位置に現はれた。依つて

$$BC = 3000 \text{ m} \quad \text{又} \quad h = 15 \text{ m}$$

であるから

$$ds = \frac{3000}{15} dh = 200 dh.$$

第 12 圖にこの ds, dh 及び不知火の長さ l との関係を示して置いた。故に dh で海面或は海底から光源に至る高さが知られる。此の寫眞を得た時の光源は足首を没する深さの干潟近くの海水に居た漁夫が腰につけたアセチレンランプの燈火であるから、海底も海面も一つに見て、之から光源までの距離は寫眞から 60—70 呎と出て、實際の高さと同じ程度の値が得られる。

C, C' の距離は 1000 米餘になる。これは縣營北新地の北側を流れる川口の兩岸に現はれた漁夫のアセチレンランプの火であつたのであるから、寫眞から測つたものと大體一致することがわかる。

A から見るとき不知火は最初 C, C' の如き位置に現はれる。それから時間と共に $B, D, E, \dots$ に擴がる。光が飛散して目ばたきを行ふ上に光源も擴がる。故に僅かの光源でも一里以上に及ぶ無數の並列にならんだ光の様に見えるのである。而して古文獻に現はれる通りの不知火の相を呈する様になる。

次に第 4 圖で示した寫眞に現はれた光の屈折を調べよう。

第 15 圖で A, B, C は大體不知火を見る方向に出来た一つの圓弧的の光學的の不連續線と

する。この線の兩側の屈折率を夫々 μ_1, μ_2 とし且つ $\mu_2 > \mu_1$ とする。この線上の P 點に光が來た時 $A'B'C'$ の如きプリズムを形成するとして此の光のそれによる偏倚 δ を計算しよう。此の寫眞を得た實驗で其の光源の位置 (第 14 圖で B としてある) の近傍の海面及び干潟上の氣温は大體

第 14 圖

第 15 圖

差の大きい時、夫々 27°C 及び 25°C 位であつた。(表及び第 10 圖参照) 依つて空氣の屈折率、溫度零度で一氣壓に於けるものを

$$\mu_0 = 1.0002918 \quad \text{とし又} \quad \frac{\mu - 1}{\rho} = \text{const.}$$

(ρ は空氣の密度) としてこの二つの溫度に於ける屈折率 μ_1, μ_2 を計算すると、

$$t = 27^\circ\text{C} \quad \mu_1 = 1.0002653$$

$$t = 25^\circ\text{C} \quad \mu_2 = 1.0002671$$

となる。P 點に於ける入射角を i , 屈折角を r とすると、

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\mu_2}{\mu_1}$$

之は不知火を見る方向の不連續線と光路の方向とは大體一致するから $i = 90^\circ$ と見ることが出来る。故に

$$\sin i = 1, \quad \sin r = \frac{\mu_1}{\mu_2} = \frac{1.0002653}{1.0002671} = 0.9999982$$

$$\therefore r = 89^\circ 53' 30''. \quad \text{依つて} \quad 90^\circ - 89^\circ 53' 30'' = 6' 30''$$

Q 點でも大體同じ程度の屈折をすると見ると

$$6' 30'' \times 2 = 13'$$

で此の場合の偏倚は 13' 程度の小なる角である。第 16 圖で BD は飛散目ばたきした長さの 2 分の

1 をとると、第 4 圖に示した場合では 150 米

である。A は觀測所で、OC 線は變化の大なる不等溫線のある位置を示すものとする、

AB の長さは 4200 米であるから

$$\angle OAC = \theta \quad \text{は} \quad \tan \theta = \frac{150}{4200} = 0.0357, \quad \theta = 2^\circ$$

従つて角 α は 88 度である不等溫線の位置は第 14 圖で波形の線で示した位置邊りかと思はれる。

依つて $BO = x$ の長さは大體 700 m 程度とすると、OC の長さは約 100 m となる。

故に $\angle BCO = \beta$ は

$$\tan \beta = \frac{700}{100} = 7.00 \quad \beta = 82^\circ$$

従つて

$$\delta = 180^\circ - (\alpha + \beta) = 180^\circ - (88^\circ + 82^\circ) = 10^\circ,$$

即ち 10 度程度空氣の不連續線のある所で光線が曲げられなければならない。然るに溫度差が 2°C では計算によると一回不連續線を横切つて出て来る光線は 13 分程度の偏倚しか受けない。この溫度は水銀寒暖計で測つたのであるから瞬間の變化の平均値を得てゐるのである。實際瞬間にはこ

れより以上の温度差あるべく、又不連続線のある所は一箇所許りでなく數箇所あることも考へられる。故に不知火に於ける光線は幾回となく、數度程度の温度差のある不連続線によつて曲げられることが想像出来る。

總 括

1. 熊本縣宇土郡松合町永尾より不知火に關する諸種の實驗觀測を行ふた。
2. 古文獻に現はれてゐる千燈萬火明滅離合する肥後の不知火は主として漁火の飛散目ばたきの現象である。
3. この飛散目ばたきを與へる原因は海水が比較的高温度でそれがため海上の氣温が干潟或は高層の氣温より高く、不知火を見る方向に吹く微風によりて兩所の空氣が相混じ、この方向に不連続線を生ずることにある。
4. 海水の暖かなる直接の原因は満潮時干潟の部分に淺く海水が乗り日光により温められる爲である。干潟の冷却は夜の更くるにつれ冷却すること及び干潟の水分の蒸發によるらしい。
5. 不知火を與へる様な氣象状態は天候の良い事が必要條件となり、且つ蟹氣樓的現象により光線は上方に曲げられるから高所から之を見る必要がある。

上に述べたことは單に空氣層の温度の相違から來る光の屈折を考へたので、これでは未だ不知火が何故に水平の方向、即ち横の方向に飛ぶかと言ふ説明が出来ない。それには海面上の暖い空氣と、干潟から來た冷氣とが如何なる風に交るかを明にせねばならない。此の點に關する觀測的事實としては、前述の等温線（等密度線）を示す圖が一つの手がかりである。然し之は一つの見取圖で未だ充分に觀測してない。之に關して藤原咲平博士より次の様な興味深い考へ方を示された。それは「不知火が横に擴がるのは、海面附近の暖い氣流の上に陸から冷い氣流が來て、其處で暖氣流が層狀をなし、其處で cellar vortex の様なものが出来る爲めであらう。從つて火の光がその間を縫つて來る爲め、分散が著しくなるのであらう。」今回の研究は温度の分布の測定も一小部分に定められ、且つ干潟上と海面上とに於て氣温の相違あることを見た許であるから、來る觀測に於ては此の様な説明に關する點に注意して、不知火現象の説明の完成へと努力し、以て同博士の御好意に謝したいと思つてゐる。

終りに此の研究に對し多大の援助を御與へ下つた寶積會、遠藤金市校長、木村正路教授、九州日日及び九州新聞社、實驗應援者及び絶えず研究の便宜を御計り下されし地元縣民多數の方々に對し衷心より感謝の意を表す。