

海水の泡沫による有線障害

箱 田 顕 雄*

1. ま え が き

秋田鉄道管理局管内の羽越本線吹浦象潟間、及び五能線大間越、北金ヶ沢間の国鉄専用通信線は、海岸沿いに架設されている関係で、海水の泡沫が風によって飛散され、これが通信線に附着して絶縁抵抗を極端に低下せしめ、有線障害を起す現象がある。その対策として管理局では、通信線をケーブル線やビニール線に切替える計画を実施されつつあるので、羽越本線の障害はほとんど解消したが、五能線の方はなお未完成で、海水泡沫による有線障害が繰返されている現状である。この現象は所謂塩風害とはやゝ異り、泡沫自体が飛散して附着することが主原因となっている。

かような弱電流の絶縁障害は、将来完全な被覆線に切換えられた暁は、解消するものであるから、予報的立場から見るときは、当座の問題に過ぎないことになる。しかし、現象自体については今までに報告されたものがなく、特種な塩風害として興味があり、一応報告しておきたい。

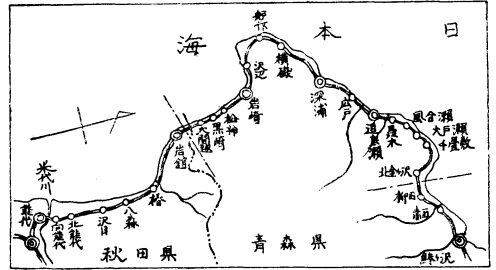
従来、塩風害の研究は日本では松平、関谷、吉田、三瓶の諸氏その他によって試みられているが、いずれの場合も塩核の形で海水の微粒子が、大暴風によって陸地に運ばれ、これが附着して送電線障害を起したり、農作物その他の植物に障害を起したり、時に40~50km内陸にも発生することがある。ここに報告するものは、海水の泡沫が多量に集積されて、泡沫の塊として飛散するものであるから、一般には海岸から200m以内の所に極限されるようである。

そして、問題が珍らしい泡沫現象であるため、現地の資料や参考文献に乏しい。したがって本文は、事実の報告に重点をおき、若干の考察を加えたに過ぎず、問題の解決は今後の研究に待たねばならぬ。

2. 泡沫障害時の気象状況

本調査は、現在なお障害が繰返されている五能線(第1図参照)のもので、昭和30年12月から同32年11月までの2カ年間の記録を、秋田鉄道管理局から拝借して行った。気象観測の資料は現地のもものが僅少で、秋田及び酒

田の観測結果を使用した。傾向の推定にはたいした不合理的はないと考えた。



第1図 五能線障害区間略図

五能線の絶縁抵抗の状況は、平日は1メガ以上を維持しているが、雨天の場合でも0.01メガ以下に降ることほとんどなく、通信はまず可能である。ところが海水の泡沫飛散時になると、絶縁抵抗が0.005メガ以下に減少して、通信がほとんど不可能になることが屢々あるといわれる。いま2カ年間絶縁抵抗が0.005メガ以下に減少して、通信障害を生じた日数を調べてみると第1表となる。

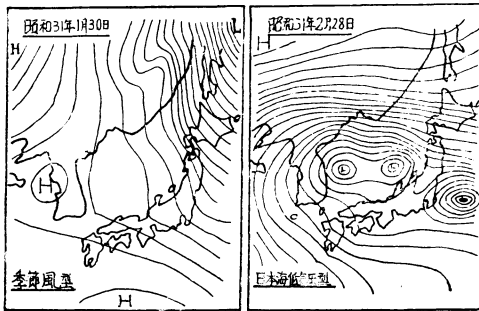
第1表 障害発生回数と風速別日数

年 \ 月	12	1	2	3	計	
1955~1956	2	7	3	1	13	
1956~1957	3	2	4	1	10	
計	5	9	7	2	23	
風速	12~18m/s	28	20	21	17	86
別	18≤m/s	6	3	2	2	13
日数	計	34	23	23	19	99

発生回数は23回で年平均12回となる。資料が少いからいはいはあるが、これを季節的に見ると、12~3月の冬期間に限られている。所謂塩風害は暖候期に多く冬期は少いといわれており、この障害は全く逆になっていることは注目に値する。発生時刻は不明であるが、障害延時間は5時間以上に及ぶものが11回もあり、全回数の48%に達している。しかも、長いものは8時間にも及ぶものもあり、なかなか軽視できない。

* 秋田地方気象台 一1958年10月30日受理一

発生当日の天気図を調べると、第2図のように、2種類の型があるらしい。まず、西高東低の季節風型は20回あって、全体の87%を占めている。当日の最大風速は西乃至北西の12~48m/sとなっている。同期間に最大風速12~18m/sの暴風日数は86日、さらに18≤m/sの日数が13日もあって、約2割が障害を起しているに過ぎない。しかも昭和31年1月30日、同12月22日、翌年3月12日の3回の障害が、ようやく18m/sに達したに過ぎず、残りの10回は記録がない。これ等を考えあわせれば、風速はある程度大きいことは必要としても、必ずしも大暴風である必要はないらしい。なお気温の方は、最高気温の最も高いものが、昭和30年12月22日の9.6°C(当日の最低気温は-1.7°C)で、他は全部6°C以下、平均では0.9°C、最低気温は、最も低いのが和昭31年1月16日の-6.0°Cで、平均では-3.9°Cに過ぎない。したがって季節風型といっても、必ずしも十分に発達した型である必要はないらしい。



第2図 発生日の気圧配置型

次に日本海低気圧型は、季節的に最も気温の低い2月に、僅か3回発生しているのみである。風は季節風型に較べて弱く、最大風速は東南東乃至南東の10m/s内外、気温は昭和32年2月8日の最高3.2°C、最低0.5°Cがいずれも一番高く、平均では最高3.0°C、最低-1.0°Cとなっていて、2月頃としては低温の日には属さない。

ここで注目されることは、気圧配置型によって風向が

逆になっていることであるが、これは第1図でもわかるとおり海岸線は必ずしも単純でないから、区間によっては障害発生を見ることはあり得ると推察される。

次に、酒田における海水温を調べて見る。障害発生日の海水温は、昭和30年12月の2回が12°C位で、その他は全部10.0~4.5°Cの範囲におさまっているし、この期間の水温の変化度合も前日差が僅かに3°C以下に過ぎない。なお水温の年変化は、第2表(仙台管区気象台編東北の気候転写)に示すように障害発生の12~3月は低温期で最低は気温よりおくて2月にでている。なお12月と大体同温の4月には発生記録が認められない。

3. 泡沫集積の機構

三宅泰雄氏は1944年4月、海中で気泡の発生する原因として、水温の上昇、塩分の増加、異水塊の混合、湧昇流、生物よりの気体発生、海底よりの気体放出、海底火山の活動、海の表面の渦等の8項目を示されたが、水温上昇と塩分増加を除く6項目は、気象以外の原因によるもので、おのずから場所が限定される筈である。本文では問題としている泡沫は、海面上の泡沫で、たとえ以上に示した原因で気泡の発生が起っても、これが海面上に浮上する必要があり、今の所五能線の沖合海上では、それらしいものは認められない。したがって問題の気泡発生の原因は、他に求めなければならない。

われわれは海洋上における風力の算定に、海面の泡立ちの状態を目安にしている位で、海面の泡立ちは、風力が増大すれば増加することが知られている。しかも風波が岸に接近して磯波となれば、更に泡立ちが顕著なことも屢々経験されるところである。これらはいずれも、波頭の崩壊の際に、外気が捲き込まれて泡立ったものである。

(4) 波頭の崩壊

一般に波高をH、波長をλとすると、 $\frac{H}{\lambda} > \frac{1}{\pi}$ となれば、理論的に波頭の崩壊が起る。しかるに須田皖次氏によると、一般に $\frac{H}{\lambda}$ が大きいとされている潮波でさえ、津軽海峡での目測観測によると、 $\frac{1}{8} \sim \frac{1}{15}$ 程度で

第2表 海水温と気温(°C)

場所	月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
青森		6.1	5.4	5.8	7.9	11.8	16.3	21.3	24.6	22.3	18.2	13.2	8.5
深浦		7.5	6.7	7.0	9.4	12.7	17.5	22.3	25.6	23.5	18.9	14.3	9.9
酒田		7.3	6.9	7.3	10.3	14.4	18.5	23.0	26.6	24.3	19.2	14.1	9.3
秋田	気温	-1.5	-1.3	1.8	8.0	13.0	17.9	22.0	23.8	19.0	12.5	6.9	1.3

限界に達する前に、波頭が崩れて白波を生ずるといわれる。また1947年の H. U. Sverdrup and W. H. Munk の論文によると、色々の資料から岨度即ち $\frac{H}{\lambda}$ が、 $\frac{1}{7}$ ~ $\frac{1}{10}$ 位に達すると、波が崩れ始めると記してある。これらを考え合せると、沖合では限界に達する前に、つぎつぎと波頭崩壊が起り、大規模の崩壊は起りにくいと考えられる。

ところが、沖合で発生した風波やウネリは、海岸に接近すると更に磯波の性格が加わってくるから底の深さ、粗度、傾斜、摩擦等のために、波高、波長、波速がいちぢるしく変化して、波頭崩壊が甚だしくなる。これが岩や岸壁等に打ちつける場合は、更に崩壊は大規模になることは、台風等の場合屢々経験される所である。

したがって、海水の泡沫が主として波頭崩壊によって発生するものとするれば、崩壊の大きい海岸の方が、崩壊の比較的小さい沖合より、平均単位面積の泡沫量が大きくなることが考えられる。この場合磯波は $C = \sqrt{gh}$ (g は重力の加速度、 h は海深、 C は波速) で進行するから、波の進行方向がしたがって次第に偏転して海岸に波が打ち上げられることになる。したがって、前記の気圧配置による風向の違いがあっても、地形の違いと共に波自身の進行方向の偏転が加わり、障害の可能性が認められてよいことになる。

(四) 海水の起泡性

ききに、水温の上昇及び塩分の増加が、気泡発生の原因になることを記したが、これは海水中に含まれ得る空気飽和量が減少するため、過剰空気の排出に伴うもので、三宅氏の計算された空気(窒素及び酸素以外の混合気体は量が少いので含まれてない)の飽和量を第3表に示す。

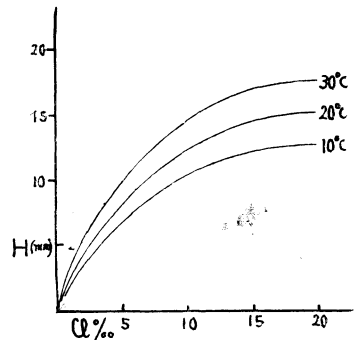
第3表 海水における(N₂+O₂)飽和量(cc/L)

t°C	Cl%				
	0	5	10	15	20
0	28.9	27.3	25.6	23.9	22.3
5	25.7	24.3	22.9	21.5	20.1
10	23.1	21.9	20.7	19.5	18.3
15	20.9	19.9	18.9	17.9	16.8
20	19.1	18.3	17.4	16.5	15.7
25	17.7	16.9	16.2	15.4	14.6

普通は表面海水はほとんど飽和に近いので、海水温の年変化約20度(第2表参照)のような長期変化は、この場合余り問題にならぬ。短期変化としての前日差は、前

記のように3°C以内であるから、第3表から飽和量の変化は大体5%以下の微量となる。塩分の変化は資料がないので実証はできないが、かりに海水の塩素量が5%の急増をしたとすれば、第3表から飽和量の減少は、7~8%程度の減少に過ぎないことになる。しかも塩素量の減少は降水その他で、短時間にある程度は可能であるが、塩素量の急増は、特別な異水塊等の流入のない限り起りにくい。したがって第3表海水における飽和量水温及び塩分の変化による飽和量の変化は、たいして問題にならぬことになる。すると、風波の際発生する泡沫は、海水自身の起泡沫と外気巻き込みによって発生するものと考えられるほかない。

三宅、桑原両氏の実験結果によると、第3図のように純粋の水は泡沫性が零に近く、塩分を増すにつれて起泡性が増大し、塩分35.1%の海水は、大体0.8モルの醋酸と同程度の起泡沫性を持つといわれる。所が海水の塩分は5~40%の範囲といわれ一定でない。然し普通は塩分30%内外といわれるから、現地の海水を塩分30%(塩素量約17%)と仮定すれば、第3図から塩分の差による起泡沫は、余り問題にならぬと推定される。然し水温が高いと泡沫性がよくなることになるから、夏冬の水温差を約20度と見積れば、第3図から目分量で約3割夏の方が冬より起泡性がよいことになる。これは障害発生回数とは逆な関係を示すことになる。すると、普通の海水なら塩分及び水温による起泡性の変化は、障害発生の直接効果は薄いものと推察される。



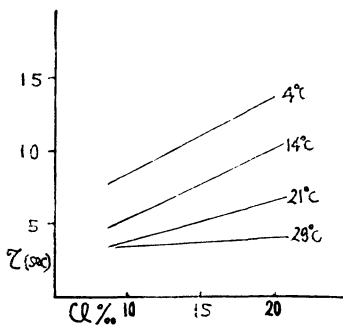
第3図 泡沫層の厚さと塩素量

然し、阿部友三郎氏は塩分35.1%の天然海水と、塩分34.3%の人工海水とを比較して、天然海水が人工海水より約3割も起泡性がよかったと報告されているところを見ると、泡沫の安定性とも関連して、なお塩分や水温以外の問題が残るのかも知れぬ。

(A) 泡沫の安定性

発生した泡沫が沢山集積するには時間がかかる。したがって、集積は泡沫の発生量の多少と共に、泡沫の安定性が重要な役割をする。

阿部氏の実験によると、塩素量13%以上の比較的濃い海水は、泡沫の安定性がよく消失しにくい、塩素量9%以下の薄い海水は、反対に安定性が悪く消失し易いといわれる。更に第4図のように、水温が高い場合は余り塩素量に関係せぬが、水温が低い場合は、塩素量が多い程安定性がよく、同じ塩素量の海水なら、水温が低い程安定性がよいことを示された。



第4図 泡沫層の半減期と塩素量

第4図は振盪によって、閉管内に作った泡沫層の崩壊を扱ったもので、 τ は泡沫の寿命の半減期を秒で示してある。したがって、自由海面に発生する泡沫にそのまま適用することは、妥当でないかも知れぬ、しかし、傾向的には安定性の模様は窺えると思う。すると、水温の高い夏は前述のように泡沫は発生し易いが、集積に必要な安定性、換言すれば泡沫の寿命の面で不利ということになる。

阿部氏の実験では、水温4°C塩素量19%の海水の泡沫の寿命は、せいぜい20秒位のものらしいが、自由海面では膜面から蒸発その他で、寿命は少し延びることが考え得る。鯨島実三郎氏の実験によると、蒸発があれば安定度が2~3倍になるといわれるので、仮に寿命が2倍に延びたとすれば、約40秒となる。Pierson氏等の教科書によると、風速50ノットの場合の周期は、15秒位のものが最も多く、長いものでも25秒位といわれてるから、泡沫の寿命は波の周期の約2~3倍程度と推定される、もし海上のある点で泡沫が集積するためには、幾つもの波の通過を必要とするから、40秒程度の寿命では、とうてい大規模の集積は起り得ないことになる。すると、低水

温効果のほかに、更に海岸における特性を考える必要がある。

1957年 D.C. Blanchard and A. H. Woodcock は、自由海面にできた白波と海岸等で岩に打ちつけてできた白波とでは、気泡の直径が前者の方が大きいことを記しているが、泡沫粒の大きさと安定度の関係については、筆者は詳しいことは知らないし、現地の資料もないので、将来の問題としたい。

しかし、既に阿部氏も指摘しておられるように、不溶性物質の存在については、現地資料はないが定性的には考え得る。われわれは、起泡性が零に近い水についてさえ河川で多相形態を呈した茶褐色の安定性のよい泡沫が多量に集積している姿を、屢々見かけることさえある位で、もし海岸で、適当な大きさの不溶性物質が混入する機会があれば、海水の泡沫は多相形態をとって、多相泡沫の形で安定性が著しく増大することも考え得る。したがって、写真(昭和28年1月14日)のように泡沫の集積の可能性を認めることもできるのではあるまいか。

4. 今後の問題

泡沫障害は、普通の海水(塩分30%内外)なら起泡性が良好なので、波頭崩壊の際に泡沫は発生し易く、できた泡沫は安定性に重要な役割を果す低水温効果によって、寿命が延ばされると共に、更に海岸において多相泡沫形態に移行して、著しい寿命の延長をきたして、多量の泡沫集積が行われてできた泡沫塊が、強風のため飛散し、附近の通信線に附着して、通信線の絶縁抵抗が著しく低下して障害を惹起するらしいことを記した。然し、なお、前記の如き泡沫粒の大きさと安定度の問題、更に下記のような未知の問題等、今後検討を要するものが多い。

(イ) 主として冬期間に限られる現象とすれば、低水温による泡沫の寿命延長の効果が、せいぜい波の周期の2倍程度に留まることになり、低水温効果が多相泡沫を形成する際に、いかなる役割を果しているか、またもし、低水温効果が重要でないとすれば、多相泡沫型態のみが多量の集積を可能にすることになるから、多相泡沫に必要な不溶性物質の含有量が、季節的にいかに変化するか。

(ロ) 前記のような障害報告が他に見当たらず、これは地理的に当地のみの現象か、あるいは泡沫発生は見られても、通信線の関係で障害を起し得ないのか、筆者には解らない。然し常識的に考えて、気象、海象、地形、線路等の条件の似た場所は、他にもあるのではないかと推

察される。したがって、必要な不溶性物質の発生が、当地に限られるものか否か。

(イ) 秋田地方気象台の酒井一氏は、昭和33年4月28日ロケット実験地の道川海岸(砂浜)で、季節風(最大風速 WNW 14.2m/s) 当日、風波による泡沫が、砂浜の窪地に小規模な集積をして、数cm立方程度の泡沫塊が風で飛散するのを目撃したといわれ、集積に好都合な場所があるらしく、場所的特性はいかなるものか。

(ニ) 低水温が必要条件なら、気温の低い程好都合となってよい。然るに、季節風型でさえ -6.0°C が最低で、平均最低気温は -3.9°C 、日本海低気圧型で平均最低 -1.0°C という状態で、これは海水の融解点 -2.5°C に大体近いこと、また、類似した天気状況と推察される時、必ずしも常に発生するとは限らず、これは通信時間の関係による記録もれとのみ考えるには、年12回の発生回数に余り少なすぎること等について、更に多数の資料によって検討する要があると考えらる。

5. 結 び

本報告は、実証の資料に乏しく、十分な結論を得るに致らなかったことは、筆者の不勉強によるもので、皆様の御教示と御指導をお願いしたい。

なお、気象研究所の阿部友三郎氏から、終始御親切な御教示を載いたし、特に貴重な論文を御送りいただき、深謝

致します。それから仙台管区気象台の内海徳太郎及び難波信吉両氏の御支授に対しても、併せて御礼申し上げたい。

参 考 文 献

- 1) 須田皖次 1958: 海洋科学, 古今書院.
- 2) 三宅泰雄 1944: 海中に於ける気泡発生の可能性と其の限界, 海と空 24, 4.
- 3) 三宅泰雄, 桑原友三郎 1944: 泡沫の大きさと安定度について, 海と空 24, 9.
- 4) 阿部友三郎 1953: 海水の無機電解質水溶液の泡沫性について, 海洋報告 3, 1953: 海水の泡沫層の崩壊の機構について, 海洋報告 3, 1954: 海水の泡沫層内に於ける泡沫の頻度分布について, 海洋報告 3, 4, 1958: 海洋学的に眺めた海水の泡沫性, 気象と統計 8.
- 5) 三瓶次郎 1957: 送電線塩風害の予報について, 東北気象研究会誌.
- 6) 吉田作松 1952: 台風キャレンによる秋田県下の稲作風害について, 秋田県企画室.
- 7) 久保時夫, 磁崎一郎共訳 1957: 大洋の波の新しい予報法, 気象協会.
- 8) H. U. Sverdrup and W. H. Munk, 1947: Wind and Swell. : 地球物理学文献, 第3集訳文.
- 9) D. C. Blanchard and A. H. Woodcock, 1958: Bubble Formation and Modification in the Sea and its Meteorological Signification. 東北予報通信.

〔書評〕 森本良平著 日本の火山

(14頁より続く) 既に噴火の予知を可能にしつゝあるのが現在の常識であることを、端的に表現し、多年火山の実勢と、四ツに組んできた、識見を物語って見事である。日本の重要な火山の写真が、鮮明なアート写真に集められ、それが頁を越えている。しかも驚いたことには、これらの写真は、ありふれたものではない。一つの火口、降起の地点、外輪を破るドーム々の現象に嘯みしめたい価値が迫るのを感じず。航空写真を主として、各火山活動の特性に、読者を案内して、詳細に解説する手腕は流石と思う。

自然現象のありのままの姿に、正しく触れて、無色透明な心から、その警戒に驚くことが、われわれの宿命であり本質に違いない。そこに科学の進歩は、存在する。その為にも、これら各章の特色は、非常に有益である。

火山のうごきの P章 (83) 三原山, 桜島, 浅間山, 昭和新山, 明神礁と主要な活火山の実体を導き、親切に説

明し、最近までの成果は、数字も掲げて一々の実勢を明らかに伝えていることは、又興味深い。

とりわけ著者が神鷹丸からながめた、明神礁の海底火山噴火のすさまじさを、 SiO_2 の含有量の多い、噴出物から、判断して、同火山爆發の強さを判定する態度は、印象的で第5海洋丸の遭難とも見合って、感慨深い。防災に取組み、火山活動と、人命の問題に、日夜、心魂を磨りへらしている気象界の吾々にとっては、大切な、要項であり、必須の教訓ともいえよう。

筆者は、地質学者であるから、〔火山のかたち〕pp 41~70〔火山の生いたち〕pp 161~207が、やはり綺麗な筆勢で流されているのは貴重である。そして全般を貫いている、「美しき風景」と「恐るべき災害」すなわち、吾が国の明暗二つのきびしい宿命から逃れることができない人生を、少しでも美しい、明るさの世界へ案内しようとする情熱は鋭い斗魂を感じる次第である。

(木沢 経)