海岸附近池沼水中の鹽化物の所謂正規分布

山 本 莊 毅

(南滿洲鐵道株式會社鐵道總局水道課)

The "normal distribution of chloride" in the
pond-waters of coastal districts.

By Sôki YAMAMOTO.

1. 緒 言

海岸平野の池沼水に含まれる鹽素量の分布に關する研究は既に 1905 年 JACKSON¹⁾によつて行はれてゐる。氏は米國大西洋岸の河川、湧泉、池沼の鹽素含有量を檢し鹽素線が海岸に平行し、内陸へ減少して行く状態を正規分布 Normal distribution と命名した。陸水中の含鹽量と海岸からの距離とは筆者がこの資料を用ひて圖化して見た範圍では指數曲線の關係であつた。1936 年吉村博士²⁾は倉茂農學士の資料及び御自身の資料から兩者の關係が直線的關係であることを主張せられ、同博士³⁾は 1939 年再びこの關係を確認された。しかし、この關係が採水當時の風によるか又季節風によるかの問題は未解決のままであつた。筆者は銚子半島の地下水研究中この問題に關心を有し 1939 年 1 月 6, 7 日, 9 月 14, 15 日の 2 回に亙り池、泉、河川、井戸の鹽素量を檢し若干の考察を試みた結果二三の事項が判明したので報告を試みる次第である。

本稿を草するに當り有益なる助言を與へられ且原稿を御閲讀下さつた恩師吉村信吉博士並びに東京文理科大學講師福井英一郎氏、資料蒐集に御盡力下された木内四郎兵衛氏に篤く感謝する次第である。

1) JACKSON, D.D. 1905: The normal distribution of chloride in the natural waters of New York and New England. U.S. Geol. Surv., Water Supply Paper, 144.

2) YOSHIMURA, S. 1936: The effect of sea-breeze on the chemical composition of fresh water lakes near the sea. Arch. f. Hydrobiol., 30: 345-351.

3) 吉村信吉 1939: 鉾田平野の池沼水に對する潮風の影響。地理, 2: 98-100.

2. 研究地域

採水は池沼河川を主とし、湧泉は池沼附近のものに限つた。銚子附近は三方海に圍まれ新生一名洗線の低地は自由に潮風を通すので、これより東方古い岩石で構成された頸部臺地（高神、犬吠、海鹿島、黒生河口を含む）は潮風に對する影響から云へば島と同様である。この臺地の南方の愛宕山（73.6 m）犬吠岬、海鹿島、黒生等に岩石が露出してゐるが、其の他は 20 m 内外の平坦な臺地で、海岸から相當隔つた小畑柳町、東小學校附近にも相當な飛砂の堆積が見られる。海岸には黒松の防風林があり、聚落は壯大な屋敷林（楨、椎、椿が多い）に圍まれてゐる。

新生一名洗線の西部は下總臺地の一部をなすロームに覆はれた平坦な臺地であつて 40 m の標高を有する。佛木田川の侵蝕谷以外谷もなくその平坦な面は松林であつたが最近開墾され甘藷畑と化した。南の海岸は斷崖を以つて太平洋に臨み、分水界は概ね海岸線に一致するが南の方に爭奪されんとしてゐる所もある。海岸には黒松の防風林があるがその發育は悪く分水界の爭奪の行はれてゐる所は芝のみの所もある。臺地と利根川との間の利根川の段丘上には狭長な水田帯を挟みこの水田灌溉の必要から臺地内や臺地麓に貯水池が設けられてゐる。七つ池はその代表的なものである。深さは 1—3 m で 1 月採水の時は満水して居り、結氷してゐたものもあつた。9 月採水の時は大部分非常に水位が低下してゐた。鹽化物の定量は現場でモール法によつて行ひ同時に盲試験をも行つた。

3. 鹽化物の含量とその考察

1. 假定 鹽化物の含量と海岸からの距離を論ずるに際してここに若干の假定がある。即ち池沼中の鹽素量は表面も底も同一であつてそこに成層は見られないと言ふことが第一の假定であるが、これは深さ 2—3 m の小池沼でよく循環する上に吉村博士¹⁾の主張される非生化學成層も見られないからこの假定は差支へないと思ふ。

次に海岸からの距離の計測方法である。吉村博士や福井講師は海岸からの最短距離を選んでゐるが銚子の如く海岸が北東南の三方に存する場合は如何

にしたらいであらうか。鹽素量分布圖を虚心坦懷に眺めると冬は北東から夏は南西から風が吹きこんだ様な形を呈してゐるから冬は北から夏は南から各等鹽素線に直角に海岸からの距離を測定した。この方向は銚子に於ける各季節の卓越風の方角である。前述の海岸線と逆の方向の海岸線からの距離を以つて鹽素含量との関係を見るその間の関係はばらばらとなる。

2. 考 察 a 鹽風の搬入

第1圖は冬に於ける陸水の鹽素含有量を示す。等値線を入れるに際して泉、河、井戸の鹽素は参照はしたが主として池沼によつて行つた。勿論北方に於て多く南方に於て少い。唯海鹿島の山林中にある池は最北方にあり乍ら 38.7 mg であるのは林中の窪地に湛へられてゐるからであらう。第2圖には夏の場合を示す。夏は南に多くて北に少いが地域の東部海鹿島・犬吠岬

第1圖 冬季に於ける鹽素の分布 (mg/l).

第2圖 夏季に於ける鹽素の分布 (mg/l).

間では恰も東からの風によるやうな分布を呈してゐるのが注目される。犬吠採石場跡に湛へられた水は 147.5 mg で本地域池沼中最大を示す。ここは丁度太平洋中に突出して居り大太平洋中の孤島の如きものでその湖沼學的諸性質は甚しく他と事情を異にしてゐる。故に計算には除外した。今之等の分布と

4) YOSHIMURA, S. 1933: Chloride as indicator in detecting the inflowing into an inland-water lake of underground waters, possessing special physico-chemical properties, Proc. Imp. Acad., 9: 156-158.

海岸からの距離との関係を見る
ときは第3圖の如くなる。之等
の関係は偏差は相當あるが矢張
り直線的關係であると斷言する
に憚らない。今最小自乗法によ
つて之等を一次式の形に表し、
ついでに吉村博士の關係をも一
括して式で表はして見る。

第3圖 海岸からの距離と含鹽素量との關係

● 夏, ⊗ 冬

$y = -9x + 36$ は合田氏の結果を換算したものの。

$y = -11x + 76$	銚子	6-7/I,	1939	山	本
$y = -13x + 80$	"	14-15/IX,	1939	"	
$y = -12x + 47$	頸城	14-15/VIII,	1938	吉	村
$y = -26x + 47$	"	16-17/X,	1932	倉茂,	吉村
$y = -13x + 41$	男鹿	15-16/VIII,	1933	吉	村

ここに y は鹽素量, x は km で表はされた距離である。福井講師^{5,6)}も柏崎平野, 黒部扇狀地で雪の鹹度を計り直線的關係を出されてゐるが, それは S% で表されてゐるので比較は出来ない。

然るに合田理學士⁷⁾は同じく昭和 13 年 4 月銚子に於て鹽風の觀測を行ひ, 各點に蒸留水を入れたバケツを置き, 10 日間にその中に集まつた鹽素量を検した結果それと海岸よりの距離との間には指數曲線的關係のあることを注意された。合田氏の資料により最小自乗法でその關係を求めて見ると次式で表はし得る。

$$y = 36 e^{-0.25x}$$

同一地域で同一現象を検して異なる結果が出たことは一考を要する。今試みにこの指數曲線の展開をして見る。MACLAURIN の定理により $y = a e^{-bx}$

5) 福井英一郎 1935: 新潟縣柏崎町附近に於ける積雪の含鹽量の分布その他について。海と空 15: 233-237.

6) 福井英一郎 1936: 富山縣黒部川扇狀地に於ける積雪の含鹽量。陸水雑, 6: 129-135.

7) 合田榮作 1938: 銚子附近に於ける陸上に運ばれる海水鹽分に就て。科學, 8: 312-313.

なる形を有する式は次の如く展開し得る。

$$y = a \left(1 - bx + \frac{b^2}{2!} x^2 - \frac{b^3}{3!} x^3 + \dots \right) \quad bx < 1$$

今最初の 2 項をとれば b は非常に小さいから近似的に $y = a - abx$ となる。合田理學士の観測した係数を用いて始めの 2 項をとればその式は次の如くなる。

$$y = -9.4x + 36$$

この式は原指數曲線とは甚しく異なるがその係数は筆者の観測値より計算せる實驗式の係数の約半分で略平行してゐることは興味深い。兩者の差異を生ずる原因は何であらうか。嘗て獨逸北海中フェール島 (Föhr) で空中の鹽分と氣塊との關係が調査された⁸⁾。これによれば空氣中の鹽分は海洋氣塊に多いのであるが、時に大陸氣塊に伴ひ非常に多いことがある。それは海洋氣塊が陸地にもたらした鹽分の集積を逆に島に運んだものであると言ふことを報じてゐた。筆者は同様の現象がこの差異を説明するのではないかと思ふ。即ち合田氏の場合はバケツであるから一度容器に捕へられた鹽分は移動しないのに反し自然の場合には始め指數曲線的に成立した關係が二次的な移動によつて直線的關係へと移行するものではあるまいかと推定されるのである。その上これ等の資料は何れも乾燥期に採集されてゐるから一層この可能性を強めるのであつて多雨期に於ては或は指數曲線の關係が成立するかも知れない。局地的な影響も多少あるかも知れないがその資料はないから斷言出来ない。三宅泰雄博士⁹⁾は雨の含鹽素量と風速の間に直線的關係があることを證明してゐるが筆者の場合は如何であらうか、多少吟味して見たいと思ふ。

又かかる關係がその月の風向風速によるかその季節の風向風速によるかの問題も考究して見度い。風向風速は氣象要覽により銚子は銚子測候所、頸城平野、男鹿半島は夫々高田、秋田測候所によつたのは現在の事情では止むを得ない。先づその月の最多風向風速との關係を見ると (第 1 表)、必ずしも良好

8) LEISTNER, W. 1939: Ergebnisse einjähriger Kernbeobachtungen in Wyk/Föhr. Ann. d. Hydrogr. u. Marit. Meteor., Heft 10.

9) 三宅泰雄 1939: 雨水の化學. 氣象集誌, II, 17: 20-37.

第 1 表 採水せる月の風向、風速と $-a, b$ との関係 (據氣象要覽)

	地 域	係 数		最 多		最 大		月	採水者
		$-a$	b	風 向	風 速 m/sec	風 向	風 速 m/sec		
1.	銚 子	-13	80	*NNE	5.6	*NNE	24.7	1939 IX	山本
2.	"	-11	76	NW	5.6	NW	20.3	1939 I	山本
3.	"	-9	36	†NNE	5.0	ENE	12.3	1939 IV	合田 倉茂
4.	頸 城	-26	47	NW	6.4	NW	6.4	1932 X	吉村
5.	"	-12	47	*S	1.7	*S	6.6	1938 VIII	吉村
6.	男 鹿	-13	41	*SE	2.3	*ESE	9.3	1933 VIII	吉村

* 風向の等鹽素線に直交せぬもの; † 筆者の計算による

な関係はなく銚子(9月)、頸城(8月)男鹿にては風向も異なつてゐる。最大風速風向についても同様であつてその関係はおもはしくない。そこで観測した月と同一季節を示し、同様の卓越風をもつたこれに先行する数ヶ月の風向風速を用ひて吟味を行つた(第2表)。之等の風向風速は各月の最多風向風速を各分力に分ち季節の平均を算出したものである(第3表)。これによれば男鹿半島で風向の合はないのを例外として風速と一次項の係数(負であるから減少率) a との間には第4圖に示す如き良好な関係が存在し、鹽分の搬入が季節風によつて行はれたことを裏書きする。兩者の関係は指數曲線関係である。即ち減少率は風速の増加と共に急に減じ風速 4 ms^{-1} 以上では一定で 1 km につき 10 mg/l となる。次に同一季節内に於ける最大風速風向との

第 2 表 採水前数ヶ月間の卓越風向風速と $-a, b$ との関係*

	地 域	係 数		最多風向風速平均		期 間
		$-a$	b	風 向	風 速 m/sec	
1	銚 子	-13	80	S $12^{\circ}40'$ W	3.48	IV--IX 1939
2	"	-11	76	N $55^{\circ}40'$ W	9.5	IX--I 1938--'39
3	"	-9	36	N $58^{\circ}30'$ W	5.0	5~16 IV, 1939
4	頸 城	-26	47	N $33^{\circ}20'$ W	0.54	V--X 1932
5	"	-12	47	N $40^{\circ}10'$ W	0.24	IV--VIII 1938
6	男 鹿	-13	41	†SE		III--VIII 1933

* 氣象要覽により山本計算; † 内陸よりの風が卓越してゐる

第 3 表 採水前同一卓越風を持続せる期間中の
最大風速風向と $-a, b$ の關係

	地 域	係 数		最 大		期 間
		$-a$	b	風 向	風 速 m/sec	
1	銚 子	-13	80	*NNE SSW	{30.0 9.4	23 IX 1939 12 VII "
2	"	-11	76	N	43.3	21 X 1938
3	"	-9	36	ENE	12.3	11 IV 1939
4	頭 城	-26	47	*S NW	{11.3 6.3	25 V 1932 25 X "
5	"	-12	47	W	9.3	16 IV 1938
6	男 鹿	-13	41	W	17.0	21 III 1938

* 最大風速ではあるが風向が鹽素線と直交せぬもの

關係を見ると第 5 圖の如くで平均風速同様密接な關係があるがこの關係はむしろ双曲線の關係である。即ち季節風の平均風速が鹽分の搬入を招來しその季節

第 4 圖 最大風速と減少率
(a) との關係

第 5 圖 平均風速と減少
率との關係

の暴風雨がそれを修飾するのである。男鹿半島の如く季節風の風向が海から來ない場合は主として暴風雨によるのであらう。

次にこの一次式の絶対項について一言すれば各季節共その數値は相似たものであることは注目される。銚子と頸城平野との差は太平洋と日本海の氣象狀態に關係するのであらう。

これによつて見れば海上並びに海濱には同一の鹽分を有つた空氣が立籠め

て居りこれが風速に應じて内陸に運び込まれるのであつて平均風速の小さな場合は内陸に殆んど入らず風速が増すと次第に入つて行き風速が或る程度以上増してもその搬入距離（一定量を運ぶ）はそれに比例して増大しないことが分る。そしてその分布は始め指數曲線的で海岸から内陸に急に減少するが海水の飛沫や地上に堆積した鹽分が再運搬されて次第に直線的關係に移過する。この事實は鹽風の害を考へる上に充分正しく認識されねばならない。

b. 夏の季節風と冬の季節風の強度

同一の池沼を夏冬の2回觀測した場合には各季節風の強度が推定出来るだらうことは前述の論考より知られる處である。吉村博士の御示教により夏冬二回觀測を行つた池、泉につき各々の鹽素含有量の比を求めて見た。その結果は第6圖に示す如くである。

夏冬の鹽素搬入量の等しい點は利根川の沖積地中にある。1.5倍、2.0倍の線は南部に來り臺地の縁邊で急變する。平地を吹く北の風は内陸深く入り込み、これに反し臺地を吹く夏の風は前者程内陸に入り込まない。搬入距離に於てはかかる地形の制約

第6圖 夏季及び冬季の鹽素量の比

が見られるがその含量は風速と

關係する爲風速 10 m に近い夏に斷然多く風速 3.5 m 内外の冬に少い。海岸に散在する防風林の影響は顯著ではない。銚子地方に於ては北風の筑波下しが恐れられてゐるが、潮風としては寧ろ南の系統の風が恐れらるべきで然もこの季節は作物の成育期であるから、その影響は相當考慮されねばならぬ。

c. 湖沼、泉、河川と井戸水の鹽素量

同一地域の湖沼、泉、河川と井戸水で鹽素含量の順位は如何であらうか。冬の資料（第1圖）によると、最近接した例は春日町と高神町に於ける池と泉である。春日町の泉 27.8 mg/l、池は 35.5 mg/l 高神町では泉 41.4 mg/l、池

47.6 mg/l で泉の鹽素含有量は何れも池より少い。河はその集水面積廣く種々の地域の水を集めるにも關はらず（或は逆に面積廣きがため稀釋せられたのかも知れぬが）その鹽素含有量は池と同程度である。池と井戸と鹽素含有量は資料が一つだけで比較出来ない。本城町の 22.9 mg/l を示す泉は常時は池であるが當時は改修中で泉同様の状態であつた。

夏の状態を見る。海鹿島の池と泉では後者の方が多いが當時泉は夏季別荘聚落からの排水溝を形成してゐたのによる。高神町に於ては冬同様泉が少い。今度觀測した春日町南部臺地下のものは泉の方が少い。然るに冬の觀測値を有する春日町北部の泉と池では逆に泉の方が多く同様の逆現象がセツ池でも見られた。これ等冬と異なり夏の池の含量の泉より小さい池は何れも灌漑で潤渴に近い迄減水してゐた。これに反し常に水を湛へてゐた高神町、春日町南部及び本城町に於ては泉の鹽素含有量が池よりも必ず少いか若しくは同量であつて多いことはない。これ等の差は測定誤差の範圍を越えてゐる量である。次に河と池では河が多く池と井戸では井戸が斷然多く、勿論井戸は河よりも多い。之等を綜合して見る時鹽素含有量は泉、湖沼、河川、井戸の順で鹽素に關する限り泉、湖沼の含量が最もよくその地域の自然状態を反映してゐると見られる。河川や井戸の水中に鹽素の多いのは人家からの汚濁によるものである。

摘 要

銚子半島附近の 6 泉 14 池 10 井 3 川に就き 1939 I, IX 月の 2 回に互に鹽素含有量を檢した結果、

1. 含鹽量と海岸からの距離の間に直線的關係がある事實を再認した。
2. この關係の吟味から機構の推定を試み、この關係が長期連吹する季節風によるものなる事、含鹽量減少率と平均風速の間には指數曲線的關係の存在することを確めた。
3. 夏冬の食鹽量の比較から季節風の影響の強度を決定した。
4. 泉、池、川、井戸の中の溶存鹽素量に關する限り泉、池が人工の加はらぬ天然状態を指示するものである。