

地質 ニュース

NO. 58 1959-6

地質調査所

こんな問題もある
塩水化する
日本の国土



鶴見川芦穂橋付近の塩水湖上部の干潮時の景観

陸地が沈むせいかな 海面があがるせいかな とにかく海水が陸地の奥のほうへ向かって徐々に入り込んできている。河川の塩水湖上 地下水の塩水化など 日本の国土と水資源をまもるために 真剣に考えなければならない問題である。

塩水の湖上する河川の点描

「わたしが子供のころにはよくふなを釣りにきたものだが 今じゃぼらがとれるようになってしまった」というような会話をよく聞かされる。ぼらにもいろいろ種類があって いつきのぼらや潮の出入りによって移動するのやを区別してかかる必要があるわけだが とにかく西日本とくに瀬戸内海や太平洋岸 あるいは北陸の諸河川ではここ1/4世紀ほど前に比較すると 塩水が奥深く上流にまで入ってきていることを否定するわけにはいかない。

もともと 瀬戸内海や太平洋岸沿いの海岸平野では 多くの河川は数百分の1から数千分の1のゆるい河道勾配になっているので 潮の干満差によって河床上を塩水が出入するわけであるが その塩水が直接出入りする一番上流の限界を塩水湖上限界といい この地点までは 毎日の満干に応じて水中の Cl^- の含有量が増減する。おしお こしおによって当然そのずれは多少あるほか 塩水が河道沿いに侵入・湖上してくるのにも時

目次	① 塩水化する日本の国土…………… 1	② 油徴とはどんなものか(2)…………… 9
	③ 三島磐岩トンネル…………… 14	④ 車窓展望(北海道の巻その2)…………… 18



塩水潮上限界の上ではあるが 干満差の影響を受け小河川でも満潮時には大きな河にみえる 水に深い関心のない企業者たちは車窓からこうした「大河」をみて水豊富な土地だな よしおれの工場を作ろうということになる しかし実際には……

間がかかるから 河口から上流にのぼるほどおくれで Cl⁻ の極大があらわれる。

塩水潮上限界までは満潮のときは直接塩水が入ってくるわけだが それよりさらに上流に向かって水位だけ高めていく部分がある。つまり感潮する部分であってその一番上流が感潮限界ということになる。感潮限界までは 満干に応じて水位が上下し 満潮のときは河口から入ってきた塩水のために 本来の淡水の流れがにぶくされ またひどく弱められてしまう。逆に干潮のときにはどっと流速が大きくなって海に流れ出していく。

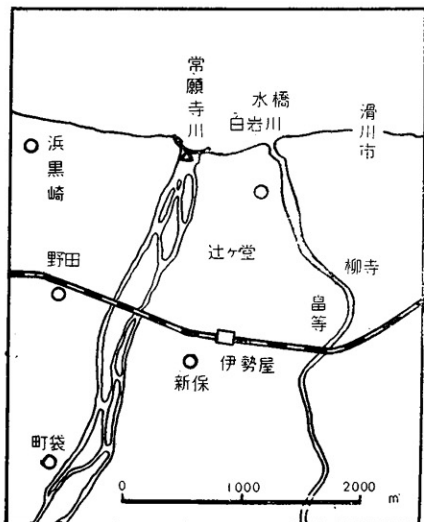
富山県の常願寺川や黒部川などのように下流で $1/100$ 前後の いわゆる急勾配の河川では山麓から大きな扇状地ができて 表流の大部分が地下水に転化し その河口部

では降雨時やその直後でない限り一般に流水の量が少なくなっているが それでも海水は汀線ギリギリのところから奥へはほとんど入っていない。太平洋岸の天竜川や安倍川などもそれに近いが 急流で知られている熊本県の球磨川や 坂東太郎利根川あるいは四国三郎吉野川などのような 日本の大河川では河口から驚くほど奥深く塩水が上下し しかもそこで いろんな二次的あるいは副次的なことが原因となって 塩の上下する区間を押しひろげているのである。

地盤の沈下 とくに西日本では 南海道地震のあとに長年にわたってつづいて起った広範囲な沈下運動で 多くの海岸平野や その河道は海水面に対して低下したため塩水潮上限界が 1年1年上流に向かってのぼってきている。

河床の掘り下げ 河床のしゅんせつ 築港のための開さく さらに少し上流ではここ10年来のセメントブームと抱きあわせの砂利の濫掘など こうした全く人為的な原因による河道低下に乗じて塩水が入り込んでくる。

流量・堆砂の減少 河川はふだんはほとんど目立った土砂の運搬をしないが 洪水のときに一挙に土砂を下流に届けてくる。ところが 上流にダムができ 砂防工事が進むにつれ その土砂がせきとめられ 下流にまで届かずまいになってしまっていること さらに統合井堰やいろいろの水利用の増加によって 河道を流れる水



常願寺川(下流縦断勾配1/85)の塩水侵入限界(7)汀線のところにある例



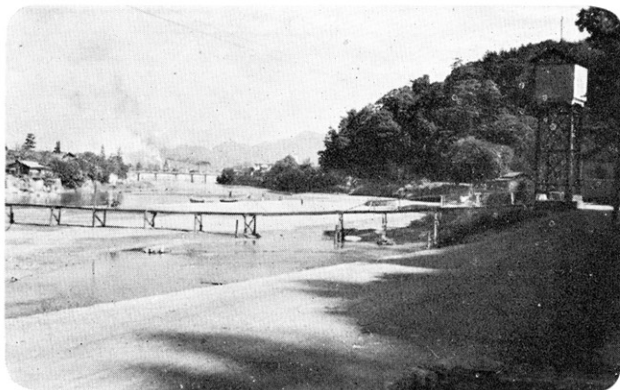
塩水を揚水し製氷冷凍の用水にあてている工場用水源の1例



砂利採取も河床低下を促がして塩水潮上地下水の塩水化の手伝いをする



瀬戸内海岸で塩水の潮上する木野川の左岸に建設進む大竹市の工場群（右岸小瀬川側からのぞむ）



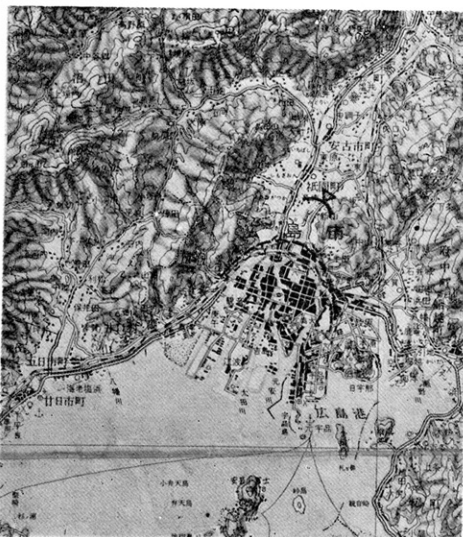
日本一の良質をほこる木野川 小瀬川にも塩水が奥深く入ってくる（遠景にみえる白煙は 左の写真の白煙に当る）

量が減少している時期が増え そのために塩水の入りよい条件をつくる。

こんないろいろの原因が重なりあって 多くの河川で塩水潮上限界が上流に潮上してきていることは いまや疑うべくもない。

山口県と広島県の県境にある小瀬川（山口県側ではおぜがわと呼び 広島県側では同じ河川を木野川〔きのかわ〕という）は国内最良の水質をほこる工業用水源となっているが 河口から2kmも上流の日本紙業KK芸防工場の暗きよのすぐ下まで塩水が入ってくる。同工場の暗きよの上流には 少しばかりの落差のある取水堰があるので 上流で取水しているそのほかの工場の用水にはまず不安がないが お隣の錦川では同じくらい深く入ってくる塩水のため 潮止めの働きをしている落差工のすぐ上で暗きよから揚水している山陽パルプKKの用水はおおしお時には Cl^- が 10,000 ppm 前後も入ることがあるのでそのようなときには もう一つ上流の暗きよ水源にだけ依存して全用水をまかなわなければならない。

宇部・小野田両市の上水・工業用水をまかなっている厚東（ことう）川でも河口から8kmも上流に Cl^- 4,000 ppm の塩水が入ってくる。そこで今まで問題なく水のとれていた宇部窒素KKの水源では（河床下の埋管によ

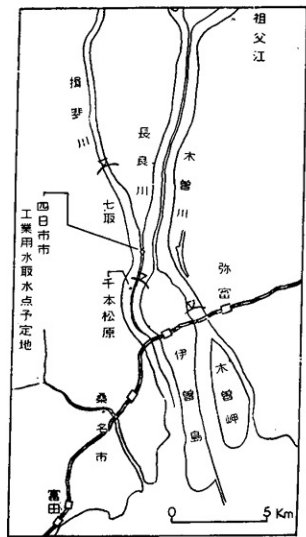


広島市における大田川の塩水侵入と下流の塩水潮上限界の地下水塩水化の限界線

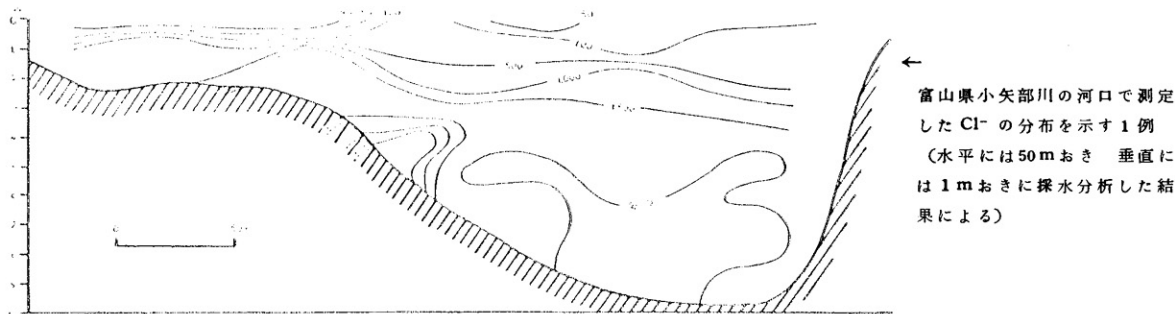
って取水しているので表面より Cl^- がずっと濃くなる）1時間おきに水質を測定し Cl^- の増加するときはあらかじめ送水を中止しなければならない。

広島県の太田川や岡山県の旭川・吉井川でも水道や工業用水に利用しようとする この塩水潮上限界がいつも問題になってくる。

四日市市の工業用水道の場合は50数kmの送水管路を布設して その膨大な水量を長良川に取水しようとしているが 水源になる長良川の東にこれより勾配の急な木曾川があり 西に背割堤一つを境に 最も勾配の緩い揖斐川が流れていて 勾配によって塩水の入ってくる奥行が違わわけだから 同じ横断のところでみると 揖斐川が一番奥まで塩水が潮上しているわけで 次が長良川 一番浅いのが木曾川ということになる。そこで 揖斐川をまたいで長良川が選ばれたのは なるべく下流で水が



木曾・長良・揖斐3川の塩水潮上限界の関係（夕印潮上限界）



← 富山県小矢部川の河口で測定したCl⁻の分布を示す1例
(水平には50mおき 垂直には1mおきに採水分析した結果による)

えられるということも 塩水遡上限界を上廻って三重県内で水がとれるところとなると そこ以外しかなかったからに外ならない。 もっとも2カ年にわたるCl⁻ 遡上の状況を調査した結果によると 長良川で河口から10kmほどは塩水が遡上してくることになる。 この付近は北海道地震の影響も受けたところであるが もっと根本的には養老山脈東側に沿う沖積層・洪積層の厚く堆積しているところであり 地質的にすでに沈降しやすく運命づけられているわけで 水源予定地である12.5kmの上流地点はCl⁻ 混入の危険からいくと ぎりぎり一杯のところといわざるをえない。

四国三郎の異名のある徳島県吉野川は いわゆる中央構造線に沿っているが ここでも紀伊水道の潮流は本流沿いに10kmをゆうゆう出入りし 第10堰の下まで全く塩水河川と化してしまっている。 舟運の便にはよいが臨海部の利水には 長い送水管の布設がいや応なしに要求される結果になる。

地盤沈下の激しい東京江東区を流れる隅田川は千住大

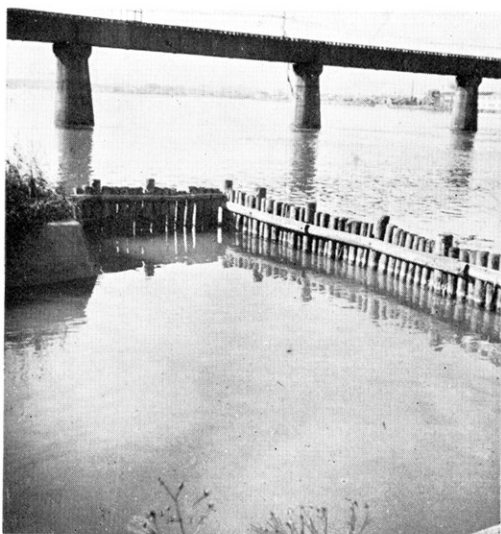
橋(河口からおよそ11km)の付近まで塩水が毎日上下しており 感潮部はそこからさらにそのくらい上流の新河岸川にまでおよんでいる。

大きな河川で断面が広く 勾配のゆるい場合 ひどい濁水に見舞われると とくべつ上流まで塩水が遡上するわけだが 昨年の春から夏にかけての異常濁水のと きなどには東日本の諸河川はこうした点で 塩水遡上の記録を更新したことになろう。

利根川などはその1位であろうが 江戸川の河口から7kmと9kmのところ で取水している本州製紙の工場では 廃水問題でさわがれているさだ中に 上下二つの水源ともCl⁻ 混入の脅威にさらされていたという。

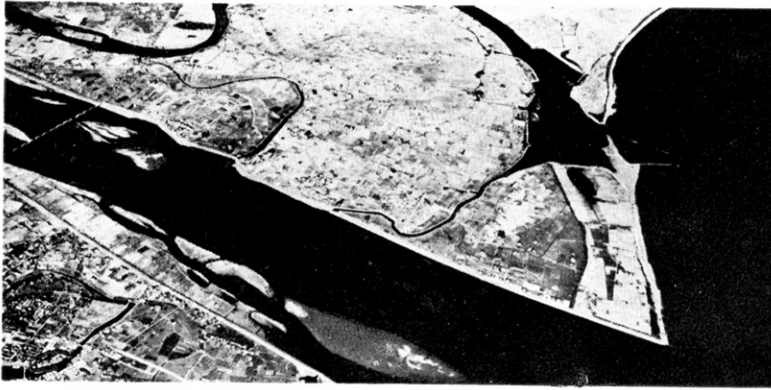
塩水化する地下水

河川の塩水遡上に伴ない 河畔の地下水が浅いところから 次第に塩水化していくのは 一般にみられる現象であるが こうした塩水化地帯は 上流をかなめとする扇形にひろがっており かなめの部分が次第に上流にさ

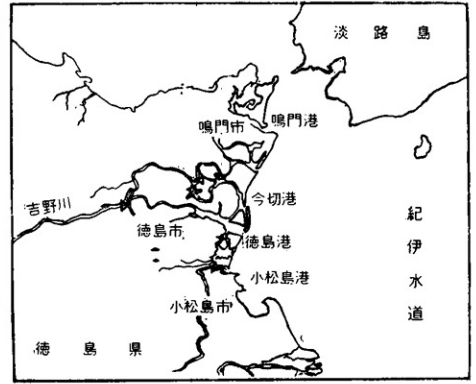


地盤沈下でさわがれている新潟の工業用水にもCl⁻が増えている 信濃川河口から4km 上流の右岸にある粗水道組合の水源では現在すでに 100ppm台のCl⁻を示しており また6km上流の工業用水道組合の水源では 昭和26~29年当時20ppm台であったのが32年には80ppmになっている しかしこれは塩水の遡上より天然ガス井から排出される多量のかん水による汚染がおもな原因と思われる

四日市市の第3期工業用水取入予定地点付近
(塩水遡上限界直上の長良川千本松原を左岸からのぞむ)



紀伊水道の潮流に疎通している徳島県吉野川の河口
(徳島公刊資料から借用)



徳島県吉野川の塩水潮上限界

かのぼっていく。この場合たいてい表流水そのものの塩水潮上限界よりは少し……ふつう1~3km程度……おこれてその扇形が上流に向かってのしあがっていく。

地下深いところの地下水はすぐには塩水化の影響は受けつけないが地下水の水みちが変ったり利用増などのために海水の圧力と対抗していく力を失うと徐々に塩水のまき返しがはじまり地下水中にCl⁻が増加していく。いままで飲用にも工業用にも最適であった水源がそれぞれの目的に役立たなくなるということはこのせまい国土に高まる一方の人口圧になやむ日本の国にとって大きな痛手ではあるまいか。

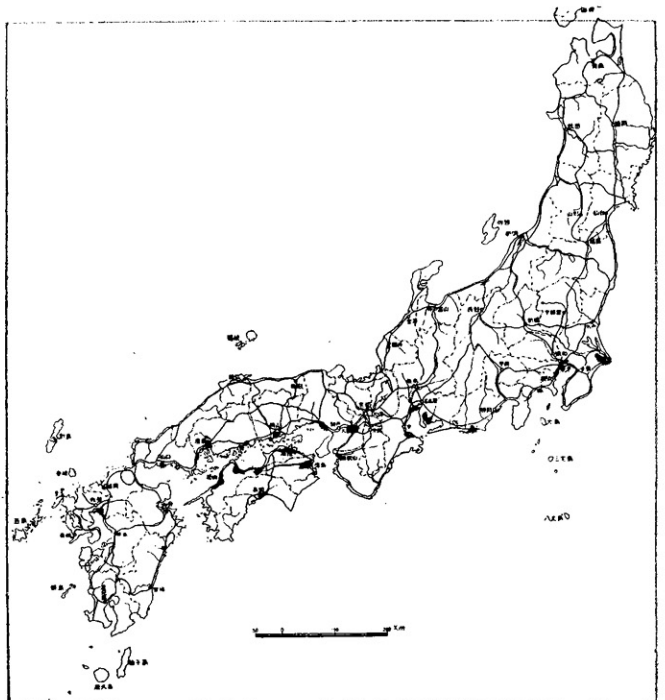
塩水化になやむ工場群

海岸に近いところに掘ってある井戸でその地質に見合った水量以上に揚水が行われ地下水の補給が間に合わなくなると手近かにある海水が補給されて地下水のうめ合わせをする。とかく大量に地下水をくみあげ勝ちの臨海部の工場群が地盤の沈下よりも先になやまされるのは塩水化の問題である。むろん工場自身がわるいことから井戸の揚水を適正にすればよいことは明らかだが自分の工場は適正にしても隣の工場がそうした塩水化を促進しているのでは全くかなわない。

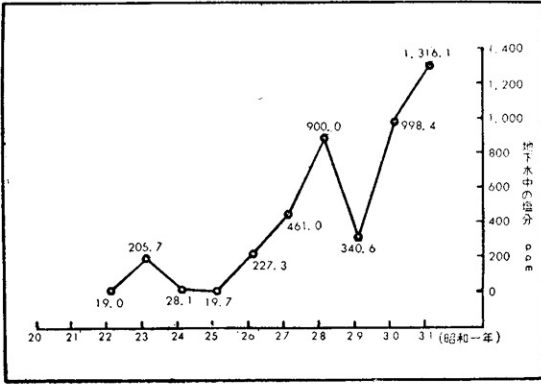
ふつう活発に流れている地下水の透水帯が海岸にぶつかっているところでは沖合に海底から地下水が湧出しているところがある。しかしその透水帯の地下水がどんどんくみあげられていると

海底に湧出する力がにぶりやがて海水の方が逆に地下水層の中に入り込んでくる。むろんいろいろの成分を含んでいる海水は地下水層の中に浸透してから地層に吸着されたり残っている勢の弱った地下水とまじり合って稀釈されたりイオン交換を行ったりして少しずつ変化してくるが従来の地下水に比較してまずCl⁻SO₄²⁻をはじめ各成分の増加が目立つ。海水中にはあるが地下水中にはほとんどないBr₂I₂などが検出されるようになるし工場が一番早く気がつく腐蝕の激化などがはじまる。

もっともCl⁻が増加していても稲などは1,500~2,000ppmまで耐えられるし私たちでも100ppmぐらいではなめた程度ではわからないし200~300ppm



おもに工業地帯で地下水が塩水侵入によって障害をうけているところ(着色部)



四国北岸における地下水の塩水化を示す記録
(新居浜市新須賀町における工場用井戸の例)

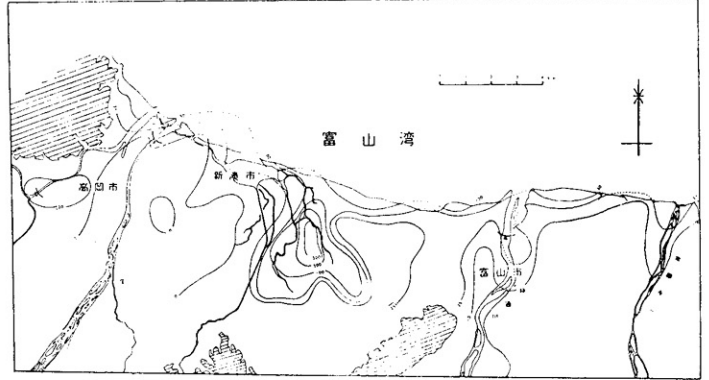
(海水の $1/60 \sim 1/90$) ぐらいにならないと気づかずに過してしまい勝ちである(普通 700~800 ppm になると相当鈍い舌感でも塩の混入がわかる)。そのわりに工場の金属製の装置は敏感であり 10 ppm の原水が 100 ppm にもなるものなら耐用年数に目立った変化を生じるのである。

南海道地震による地盤沈下 河道沿いの塩水潮上に伴って 海岸平野の地下水がひどく塩水化したために 浅いところの地下水を飲用に供していた多数の農漁村そして工場を含む多数の都市が まず飲用の面でこまりその後 数年がかりでいわゆる地盤沈下対策として多数の簡易水道が施設され 衛生的にも文化的にもむしろ向上したという結果をうみ出したのであるが その後なお緩慢に引きつづいていた沈下は 地下水の利用増加と相まって 深層の地下水に海水の呼び込みをうながし

表-1

Cl⁻ のわりに Ca²⁺ の著しく多い東洋レーヨンスフ工場の水源井の水質
(1953年10月地質調査所化学課分析の1例)

成分	含有量 ppm
固形物総量	7,700
SiO ₂	23.2
Fe ²⁺ , ³⁺	0.05
Ca ²⁺	1,023
Mg ²⁺	304
全硬度	217.1 (°dH)
SO ₄ ²⁻	293
Cl ⁻	3,178
HCO ₃ ⁻	38.7



富山湾岸にみられる塩水化した地下水分布
(昭和29年当時 単位 Cl⁻ の ppm)

ままで工場の温湿度調整用や精錬 ボイラーに使われていた水までが急速に塩水化はじめてきたのである。

伊予灘に面する東洋レーヨンKKのスフ工場の深井戸の水のCa²⁺が 1,000~2,000 ppm (原水15~25 ppm海水 400 ppm) になったり 礫灘に面している新居浜市の住友化学の淡水水源のおよそ1/2が全く塩水化してしまった例はその片りんを物語っていよう。

岡山県の児島湾に面している某化学工場では その用水源の塩水化のため 良水のいるチタンの製造計画に大きな障害を生じたし また和歌山市では 直接の原因は港湾のしゅんせつにあったとはいえ 従来の染色工場の大事な水源であった地下水がほとんど全部塩水化してしまい急いで工業用水道を布設し救援しなければならなくなった。

表-2

名古屋市中部電力KK名古屋火力発電所の深井戸群における塩水化の徴候を示す水質の経年変化 (同発電所分析結果による)
(1号井)

測定年月日	pH	固形物総量 ppm	Cl ⁻ ppm	全硬度 ppm
昭和11.12.12	—	335.6	71.0	25.2
12. 4.15	—	217.0	22.5	16.7
15. 8.12	7.7	410.0	150.0	46.9
16.10.11	7.3	326.0	101.0	36.9
17. 5.11	—	332.0	100.0	32.3
22. 9. 9	7.1	332.0	103.0	37.0
23. 4.14	—	254.4	49.4	21.0
25. 6.23	7.6	350.5	137.0	42.5
28.10.12	7.2	742.0	312.0	77.4
31. 7. 4	6.8	350.0	110.0	—

(2号井)

測定年月日	pH	固形物総量 ppm	Cl ⁻ ppm	全硬度 ppm
大正15. 6.23	—	178.0	16.0	17.7
昭和 2.10.14	—	180.0	2.5	15.2
7. 7.12	—	175.0	7.0	17.1
9. 8. 1	—	201.1	18.5	15.6
13. 5.16	7.7	230.5	39.0	21.6
15. 9.17	7.1	258.0	53.0	30.1
16.10.11	7.1	285.0	76.0	33.4
17. 5.11	—	177.0	10.0	17.2
22. 9. 9	7.1	258.0	53.0	30.1
23. 4.14	—	171.2	3.3	17.2
24. 2.23	7.2	272.0	71.5	30.0
24. 3. 3	7.7	361.5	119.5	41.6
28.10.12	7.3	435.0	172.0	50.2
31. 7. 4	7.0	272.0	70.0	—

尼崎市や大阪市 横浜・川崎両市あるいは東京江東地区の南部の臨海工業地帯には 広範囲な Cl⁻ の地下水混入地帯がある。むろんこの一部には地層堆積当時から含まれていた塩水もみとめられるが 工場用井戸の揚水過剰のため 年々 Cl⁻ がふえている傾向もみとめないわけにはいかない。すでに工業用水法の適用を受けている工業地帯は その増加が抑制されてはいるが 一旦入った塩水を追い出すことは容易でないだけに 地下水をどうしても使わなければならない中小企業 とくに製氷・冷凍工場や温湿度調整用水を必要とする工場などには 今後もなお大きな障害となって残ることだろう。

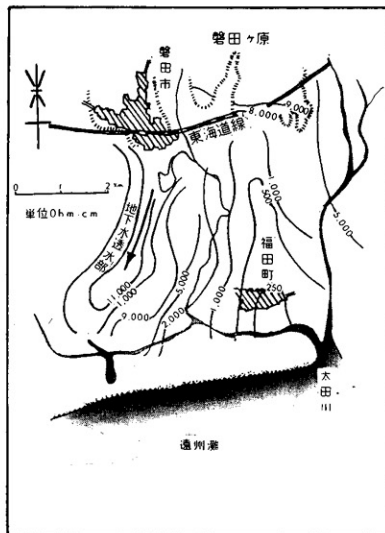
静岡県磐田市の東方には 磐田郡福田町から北方へ向かって 東海道線わき磐田カ原の直下までくさび形になった 高度の塩水混入地帯があり 古磐田海という名前の残っているところで 一むかし前の海水がとり残されているところとみられるが 現に福田町では井戸の揚水によって Cl⁻ の増加が生じているのをみると 人為的な面もかたんしていることになる。

同じような著しい塩水混入地帯はもう一つ兵庫県播磨平野の天川ぞいにもある。また 海岸ではないが むかしの海水がとじこめられたままに残っている塩水性の地下水を利用しているところが 関東平野のまん中 古利根川と元荒川とはさまれたところに 北西から南東に向かって長い帯状になってみとめられる。このような塩水地帯は 今後どんどん塩水化を進めていくという風には思われないが いろいろ開発計画の中で地下水を利用するに当っては考えた方が賢明なように思われる。

塩水侵入の防止策

そこで私たちはこうした河道沿いの塩水の溯上 地下水へへの塩水の混入、国土の塩水化を手をこまぬいてみているわけにはいかない。なんとか少しずつでも塩水追放の手だてをしていかなければならない。

岡山県高梁川では塩水の溯上に対抗して 河口から3 kmほどのところに適切な防潮堰堤をつくっている。こ

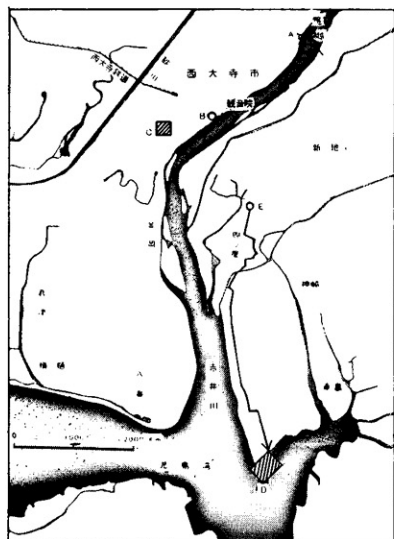


←
塩水が陸地の奥深くまで地下水中に混入している状態を水比抵抗の等値線で示している 1,000 ohm-cm の線はクロール 400 ppm 同じく 500 の線は 750 ppm 250 の線は 1,500 ppm 程度に相当している

表-3

四日市市の地下水などではごく僅かな量の塩水化がみられる 経年的測定値などがえられないこうした場合には 現状の分析結果から次のような表をつくり 内陸側の a から海岸側の d に向かって漸次海水に近似していることを知り それによって地下水の塩水化を推定する (地質調査所技術部地球化学課室住技官の原表による)

	試料別	Cl ⁻ ppm	Na ₂ Cl	K ₂ Cl	Ca/Cl	Mg/Cl	(Ca+Mg)/Cl	(Na+K)/Cl
a	近鉄名古屋線より山側における平均値	6.8	2.86	0.22	0.74	0.59	1.33	3.08
b	近鉄名古屋線より海側における Cl ⁻ の少ないものの平均値	8.7	1.95	0.11	0.68	0.67	1.35	2.06
c	同上 Cl ⁻ の中程度のものの平均値	21.5	1.04	—	0.33	0.33	0.66	1.10
d	同上 Cl ⁻ の比較的多いものの平均値	22.0	0.85	0.10	0.13	0.12	0.26	0.94
	標準海水	18,970	0.528	0.020	0.022	0.068	0.089	0.548



← 本邦最大規模の塩水混入地帯 岡山県西大寺市と吉井川
 A…鴨越の取水堰 この下まで塩水が入る
 B…裸祭で有名な東大寺
 C…Cl⁻ 4,000 ppm の深井戸でエヤコンをしている紡績工場
 D…せめてもの淡水をとるために背後地に4kmの送水管を有している化学工場
 E…その水源井
 なお吉井川右岸一円約 100 km² の地下水が著しく Cl⁻ に富んでいる

のために当時玉島町の上水源であった掘抜き井戸群のCl⁻の増加が抑制され 逆に減少の傾向を示したが 隣の旭川でも不完全ながら井堰によって塩水の潮上がくいとめられているので 倉敷レイヨンKKの水源などがもちこたえている。

相当数の河川では 不完全ながら最下流の澆灌用水取入堰によって作られている若干の落差によって 常時の塩水潮上が防止されている例は少なくない。

しかし おおしお時 とくにそれにひどい濁水が重なったようなときには 塩水はその僅かばかりの(30~40 cmから1 m前後までの) 落差工をのりこえて 上流にまで入り込んでくる危険があるところもまた少なくない。

下流でも河床に砂れきの層が比較的良好発達し いわゆる伏流の多い河道では その伏流がなにかの拍子で弱

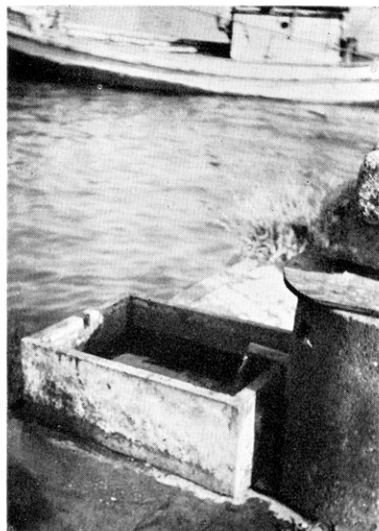
まると 塩水は河床下ではせきとめられても 河床下を 通って上流に向かうことがあるうる。

そこで そうした場合には慎重に砂れき層中の水の流れを遮断できるよう工夫をしなければならない。 たしかに矢板打込みの防潮堰堤が多く河川について必要である。 しかし 広い海岸線や厚い砂れき層 とくに地下深部の地下水層を通して行われる地下水の塩水化には こうした土木施設では到底太刀打ちできない。

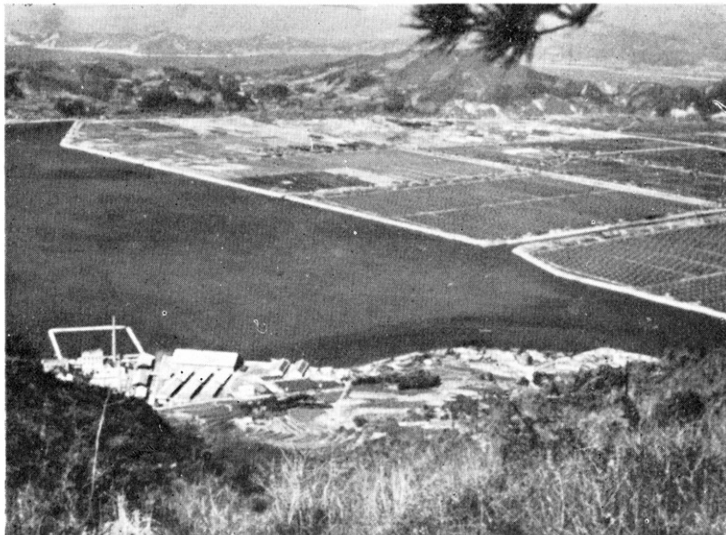
平常からの地下水利用の適正化が必要なことはいうまでもないが 塩水追放の積極的手段として 背後地から給水される水道水の余水や排水を 地下に注入して(おそらく圧入しなければなるまいが) 少しずつ塩水化した地下水を淡水に近づけていくことが考えられてよい。

比較的集団化の程度の低い瀬戸内海沿岸の化学工場や繊維工場で 蒸発函やタービンの復水器の冷却用にあてている塩水井(Cl⁻ 数 1,000 ppm を示すが水温が17~18°C にとどまるので一部の冷却用に利用価値がある) 中に工業用水道や自家専用水道水で 冷凍機やコンデンサー冷却に用いた排水を注入して 塩水化を弱めていこうという着想はきわめて現実的な有効な考え方であろう。 もっとも その多くの場合は 地下水位を高め 地盤沈下などを抑制したいという方に投資の基礎があるにせよ 公共事業としての塩水化追放を叫ぶまえに 研究・推進していくべき対策の一つかと思われる。

(地質部 工業用水課)



あるところでは地下水の圧力が強く 海水の勢力より強いので 海岸ぎりぎりのところでも Cl⁻ 5~6ppm というような掘抜き井戸がある



しかし別の多くのところでは干拓はすすめられているが…一方においてその新しい国土の塩水化が進んでいる(山口県公刊資料から借用)