

—退官記念講演要旨—

日 本 の 塩

岡 宗 次 郎

本稿は、去る 3 月 31 日停年退官された本所第 4 部の岡教授が去る 3 月 22 日記念講演をされた時の要旨を岡教授におねがいしてまとめたものであります（出版委員会）。

わたくしは東大工学部応用化学科を卒業してから引き続き大学院学生・講師・助教授として同じ教室におりましたが、第二工学部設立とともに当所へうつり、戦後は生産技術研究所の一員として今日まで勤務してまいりました。光陰矢のごとく、いつの間にか停年を迎えることとなり、省みてまことに感慨深いものがあります。

わたくしの専門は工業分析化学であります。同時に塩に関して以前から興味を持ち、研究もいたしておりました。このたび退官記念講演の機会を与えられたので、まず専攻の分析関係のことでもと考へましたが、どうも専門的になりやすく、興味も薄いことと思ひ、われわれの身近に感じられる塩を取りあげて、上記のような標題のもとにごく一般的な話を述べさせていただくことになりました。

塩がわれわれの生活にとって必要欠くことのできないものであることは、いまさら説明するまでもありません。ところがこの大切な食塩がわが国においては数年前までかなり不足していたのであります。戦後、この塩不足に苦しい思いをした経験があるので、工業塩はさておき、食用の塩だけはぜひ国産で賄うべきだということが痛感されました。生研の前身、第二工学部においても戦後稲毛に製塩所を設け電気製塩を始めたことがありました。わたくしもこれに参加し“苦汁中の成分の利用”という面で現 4 部の野崎助教授等と共に研究をいたしましたのであります。

昭和 25 年には「日本塩学会」という学会が創立され、わたくしも参与という名でこれに加わりましたが、現在数百名程度の会員ながら塩に関する研究機関誌が発行され毎年 5 月、主として瀬戸内海地方で開催される年会においては多くの研究発表が行なわれております。なお生研より山辺・武藤両助教授も参加し理事として活躍しておられます。

“塩について研究することがあるのか”という質問を受けることも再三でしたが、わが国のような特殊事情のもとで製塩を行なうには研究すべき問題がたくさんあるのであって、「塩学会」などという塩に関する学会があるのも日本だけであろうと思ひます。わたくしは現在学会内においては主として分析関係の分野の研究をやり、目下専売公社における塩に関する分析の公定法原案の作

成を依頼されてやっております。

しかし、ここではむずかしい研究的な話は一切やめまして、日本の塩に関する概観的な話を申し上げたいと思ひます。

塩 の 資 源

塩を供給する資源としては海水のほか、岩塩・かん泉・かん湖などがあります。岩塩は世界の各所に産し、米・英・ソ・独・仏・伊その他工業国はいずれも国内に岩塩層があるのであって、これが地下に層をなして存在し、石炭を掘るように採掘すればよく、場合によっては岩塩層のところへ水を注入し、これを溶かして汲み上げる方法を行なっているところもあります。世界の塩生産高（1958 年）は 7,200 万トンでその半ば以上は欧米の岩塩であります。

塩分を多く含むかん泉・かん湖も欧米各地にあり、いずれも塩の資源となっております。

海水はだいたい総塩分として 3.4~3.5% ほど含まれ、その平均成分は第 1 表のようであります。

また海水から塩をとるにしても日本を除いては、ほとんど天日塩田法で、これは晴天の続く地方で、太陽熱と風力を利用し、海岸につくられた塩田、すなわち区割された池に海水をため、水分の蒸発によって池底に析出してきた塩を集めて採取するので、製塩に関する費用ははなはだ少なくてすむのであります。

第 1 表 海水中の塩類

成 分	海水 1 キログラム中のグラム数	塩類比 %
食 塩 (NaCl)	27,213	77.758
塩化マグネシウム (MgCl ₂)	3,807	10.878
硫酸マグネシウム (MgSO ₄)	1,658	4.737
硫酸カルシウム (CaSO ₄)	1,260	3.600
硫酸カリウム (K ₂ SO ₄)	0,863	2.465
炭酸カルシウム (CaCO ₃)	0,123	0.345
臭化マグネシウム (MgBr ₂)	0,076	0.217
計	35,000	100.000

日 本 の 製 塩 法

これに反して日本においては天日製塩法は天候の関係で実行できず、わが国独特の入浜式または流下式の塩田法によっているのであります。以下少し詳しく日本の製塩法について説明しますと、

1. 古い製塩法 遠い昔は海水を汲み取り、そのまま煮つめて塩を取っていたのですが、次いで、海藻に海水

をかけては乾かし、それを焼いてその灰を溶かしたものから塩をつくった、いわゆる歌にもある藻塩焼くという方法が行なわれた時代もありました。やがて海水を砂の上に乗せて砂に塩をつけ、それをとくして濃い海水をつくり、煮つめて塩をとるいわゆる揚浜式という方法が行なわれました。芝居などで汐汲みという美化された型で見られるものであります。

2. 入浜式塩田法 しかし徳川時代になってからこの方法が発達しました。これは汐の干満を利用し、海岸につくった塩田に砂の層をおき、溝から引き込んだ海水は砂層を毛管現象で砂層の表面に達し、乾いて砂の表面に塩としてつくものでだいたい 2~3 日ごとにこの砂を集めて塩田の中に設けられた沼井(ぬい)という溶解槽に入れ、海水をかけて塩分をとく濃い海水——これを鹹水(かんすい)という——をとる。これを採鹹といっています。これには砂を集めたり、また撒き広げたり、その労力は大変なものであります。得られたかん水はこれを釜で煮つめて塩をつくるのですが、この入浜法は長い間行なわれていたのであります。

3. 流下式塩田法 入浜法はかなりの労力を要し、また冬期は休まねばならなかったのですが、10年程前からこの塩田を流下式に切り換えるようになり、現在ではほとんどが流下式に改められました。この方法は地盤をかためて海水の洩らぬようにし、100分の1くらいの傾斜をもたせ、表面に砂をうすく敷いて海水をゆるやかに流下させ、その間に蒸発濃縮させるもので入浜法に比べて労力も数分の1ですみ(1ヘクタール当たり 7~8 人が 0.5 人程度に減少)しかも冬期も稼働できるので、はなはだ能率が上がるようになりました。

4. 枝条架 流下法で濃くなった海水を、そだとか笹をつるした上から滴下させ、その間にさらに濃縮させる枝条架(1例—高さ 7m, 幅 30m, 奥行 20m)という立体的方法を併用することにより、従来の入浜法に比べて同じ面積で約 2 倍の塩(1ヘクタール当たり約 200 トン)が得られるようになったのであります。

5. 平釜式と蒸気利用式製塩法 今まで述べたのは採鹹の方法ですが、このかん水を濃縮して固体の塩を得ることをせんごう(煎熬)といい、古くから行なわれてきたのは平釜製塩法であります。これは鉄製の平釜(1例 250×390×15 cm)を用い、普通は温め釜を煙道に近く 1~2 個にならべて予め温めたのち、結晶平釜に順次移して固体の塩を析出させるのであります。この方法の煮つめの途中で析出するカルシウムを取る、田中式などいろいろ改良されたものがありますが、熱効率はよくないので、やがて蒸気利用式という平釜の代わりに密閉した丸型平底の釜を用い、その蒸気を管で導いて熱交換によりかん水を予熱するため利用する方法が、大正末ごろから行なわれるようになりました。

6. 真空式製塩法 しかしその後真空蒸発により燃料を節約する方法が発達し、現在の製塩工場の大部分はこの真空式に改良されました。これは四重効用缶といい、上と下が円錐型になっている四つの蒸発缶からなるもので缶の真空度を順次高め、第 1 の蒸発缶にはボイラーの蒸気を導いて加熱し、発生した蒸気は次の缶の加熱用に利用し、第 3、第 4 と同じように蒸気のもつ潜熱を利用する方法であります。たとえばボイラーで 120°C のスチームを送ると第 1 缶は 100°C、第 2 缶は 80°C、第 3 缶は 60°C、第 4 缶は 40°C という温度で沸騰するので、理論的には熱源は 4 分の 1 ですむわけでありす。各缶の下にはそれぞれ結晶となって出てきた塩を集める集塩器がついており、これに溜まった塩を集めて遠心分離器で水分をとり、純度のよい塩をつくるのであります。

すなわち石炭の量からいうと、塩 1 トンをつくるのに平釜式では 1.5 トン、蒸気利用式では 1 トン、真空式では 0.4 トンですむことになります。

7. 加圧式製塩法 しかし現在行なわれているうち最も新しい方法は蒸発した蒸気を圧縮して温度を高め、それによって再び蒸発缶の加熱を行なう加圧式方法であって、自己蒸気を利用するため、圧縮に要する電力は必要であるけれども、ボイラーによる加熱はごく僅かですむので、電力さえ安価に得られれば、はなはだよい方法であります。この加圧式の方法は昭和 27 年専売公社によって福島県小名浜に工場がつくられ、塩田は用いず海水を直接濃縮缶に入れ、次に結晶缶にうつし製塩を行なっているのであります。その後同地に新日本化学工業が同じ式の工場を建設しております。加圧式製塩法は現在数カ所で行なわれていますが、今後次第に広く採用されることになると思われます。

8. イオン交換膜による製塩法 海水の中の塩はナトリウムの陽イオンと、塩素の陰イオンからなっているのであって陽イオン交換樹脂膜と、陰イオン交換樹脂膜を交互にならべ、海水を通じてこれを電解すると、イオンの移動によって塩分の濃い室と、塩分が減じて淡水となる室とができるのであります。この方法によってかん水をつくる研究が盛んに行なわれ、ようやく実験の域から工業化に移ろうとしています。米国においては、海水から淡水を得て工業用水に用いようとするものですが、わが国では逆に濃い塩水を得ることを目的としているのであります。しかし日本でもやがて米国と同じように工業用水としての淡水を得ることを目的とする時も来ること予想されます。この方法は少し規模を大にすれば製塩方法としてははなはだ有望のものと考えられ、山辺助教授もこれについていろいろ研究されておられるようです。

塩の純度と規格

今まで述べたような方法でつくられた塩は、方法が改良されると共に純度もよくなってきており、現在食塩の

第 2 表 食 塩 の 規 格

品 質 規 格	
食 卓 塩	NaCl 98%以上, 炭酸マグネシウム 0.4% 炭酸カルシウム 0.6%, 粒度 500~297 μ が 85% 以上
特級精製塩	NaCl 99.5% 以上, 粒度 500~177 μ が 85% 以上
精 製 塩	NaCl 99% 以上, 炭酸マグネシウム 0.5% 粒度 500~177 μ が 85% 以上
精 製 食 塩	NaCl 99% 以上, 炭酸マグネシウム 0.1%
上 質 塩	NaCl 95% 以上, 水分含有量 2.5% 以下
白 塩	真空式 NaCl 93% 以上, 蒸気利用式 NaCl 88% 以上 平釜式その他 NaCl 85% 以上

規格とされているのを示すと第 2 表のようであります。

塩の性質と結晶

かん水を蒸発して得た塩の結晶は、純粋のものではなく、一般には微量ながら水分のほか、CaSO₄、MgSO₄、MgCl₂、KCl その他を含有しています。

塩、すなわち塩化ナトリウム (NaCl) は水に溶ける量が温度によってあまり変化がなく、0°C で 26.3%、100°C で 28.5% の溶解度を示し、800°C で融けて液体となり、1413°C で沸騰する。塩の結晶は純粋のものは六面体でゆっくりと結晶させた小結晶は無色透明であり、少し大きくなったものはだいたい白色不透明の結晶になるが、これは結晶中に微量の母液が入ったためであります。面白いことには母液に微量のマンガンイオンを加えておくと、大型の透明結晶が得られ、尿素を少し加えると透明の八面体の結晶になります。適当な条件で結晶を攪拌しながら成長させると円型のものが得られるそうので、専売社では種々の大きさの円型の結晶がつけられました。また液の表面に結晶を析出させると、薄片のいわゆるフレーク塩というものが出来、これは溶け易いのでバターなどに入れる目的でつけられているということです。

なお、食卓塩には吸湿を防ぐ目的で、炭酸マグネシウム、炭酸カルシウムを約 1% 添加しております。

塩の工業的用途

塩は食用のほか化学工業の重要な原料とされているものです。

食塩水に隔膜を入れ直流を通じて電解を行なうと、一極の方に苛性ソーダ (NaOH) と水素ガスができ、+極では塩素ガスが発生します。この苛性ソーダは化学繊維・紙・石鹼などの製造を初め多くの化学工業に用途をもつものであります。この製法で隔膜の代わりに水銀を用いる水銀法は純度のよい苛性ソーダが得られるので化学繊維などの原料としてはこの方法が用いられます。

苛性ソーダと並んで重要な炭酸ソーダの製法はアンモニアソーダ法またはソルベー法ともいわれ、アンモニアガスを溶解した食塩水に炭酸ガスを吹き込んで重炭酸ソーダ (いわゆる重曹) を沈殿させ、これを焼いて炭酸ソーダ俗にソーダ灰といわれるものをつくるのですが、こ

のソーダ灰はガラス製造の原料として重要であり、またこれの水溶液に石灰乳 (水酸化カルシウム) を加えて苛性ソーダをつくるのにも多量用いられます。炭酸ソーダは硫酸と相まって化学工業の両柱といわれるものなのであります。

また食塩水の電解で得られた塩素は同時に出来る水素と化合させて塩酸をつくったり、あるいはサラシ粉にしたりしますが、かつては電解苛性ソーダの副産物としてできたこの

毒性ガスの処理に、はなはだ困った時代もあったのですが、現在では従来から用いられていた化学調味料の製造を初め、DDT とか BHC その他多数の医薬品や塩化ビニールの原料その他多くの用途が開けて、むしろ塩素を得る目的で電解が行なわれるというふうに変わってきたのであります。

苦汁の成分

日本の従来の製塩では苦汁が副産的に得られ、これは昔からトウフの製造などに利用されていましたが、その中の成分は第 3 表のようにわが国には乏しいマグネシウムやカリウムなどが多く含まれているので大いに利用すべきものと思われま

第 3 表 苦汁の成分 (%)

	MgSO ₄	MgBr ₂	MgCl ₂	KCl	NaCl	計
試料 A	9.45	0.36	17.62	3.44	3.89	34.76
試料 B	3.78	0.42	20.46	2.99	4.13	31.78
試料 C	7.40	0.35	16.70	3.56	4.87	32.88

このうちマグネシウムは直接海水から水酸化物として沈殿させ、焼いてマグネシアとし大量に生産することがアメリカでも行なわれており、わが国でも一二の会社でやっているようではありますが、苦汁からのカリウムとかブロムなどの利用は苦汁より分離する操作の困難もあって、今日十分の利用を見ていないようではありますが、もっと苦汁中の有効成分の利用が広く行なわれるよう希望したいものであります。

食用塩と工業塩

日常生活に必要な欠くべからざる塩の生産が、わが国では近年まで満足な状態でありませんでした。そこで昭和 25 年に閣議で国内自給を目標とする方針が決定され、29 年頃より入浜式塩田を流下式に切り換えることが始まったのであります。

9 千万の人口について食用塩はおよそ 90 万トン必要とされているのですが、昭和 28~29 年まではせいぜい需要の半分 45 万トン程度しか生産されなかったのであります。しかし、その後流下式塩田への切換えが進むに従って 1 ヘクタール 150~180 トンと見ていた生産は枝条架の効果もあって予想外に上昇し、昭和 30 年 59 万トン、昭和 31 年 67 万トン、昭和 32 年 87 万トンと

急速に増産され、昭和 33 年には遂に 100 万トンを超えて 108 万トン、さらに昭和 34 年には 117 万トンと需要をはるかに上回ることであり、むしろ生産過剰に困るという状態になったのであります。

専売法であるため、生産された塩は公定価で収納せねばならず、余分の塩は倉庫にも収めきれずに四国の塩田付近では、露天に山と積み重ねておくという次第になったのであります。公社も業者も共に熱心に増産に努力した結果が、著しい効果を示してこのような生産過剰となり公社は多額の赤字に苦しむということになったわけで、結局止むを得ず塩業整備という方針となり、塩田は 5,000 ヘクタールから 3,000 ヘクタール程度に縮小されるという皮肉な結果になったのであります。

このようにして年間食用塩約 100 万トンの需要に対しては生産過剰となったにもかかわらず、工業塩はその二倍に当たる 200 万トンを入力しているのであります。

ちょっと矛盾した感がありますが、国内塩は収納価格 1 トン 10,350 円であるのに対し、輸入塩の価格はその約 3 分の 1 であるので、国内過剰の塩は、とうてい工業塩に向けるというわけにいかないものであります。したがって余分の塩は道路舗装用として土に 1%~2.5% を混ぜ、ローラーで締め固めて道路の補強とか、ほこりを少なくすることとかに試験的に使用している由ですが、アメリカのようにあり余っているところはともかく、これまでのことを考え合わせて、何とも勿体ない気がしないではいられないのであります。

今後の問題

日本の困難な塩業情勢から、世界に類を見ない「塩学会」という学会まで出来たわけですが、今後はイオン交換膜等の研究促進によって、安価な工業塩をつくり、工業塩も国産で賄うようにすることがまず第一の課題でありましょう。イオン交換膜法では年 5 万トン生産の場合は 1 トン 6,000 円、10 万トンでは 5,000 円、30 万トンでは 4,000 円という数字が出ます。交換膜の選択透過性、寿命などの問題について解決を急ぐべきであります。

そして、さらに進んでは海水中に含有される微量成分(第 4 表)を有効適切に分離して、これを十分利用できるようにすること、などがわれわれ塩に関心を持つものの仕事であろうと考えるのであります。

塩と生理

最後に塩が生活上重要であるという意味において、生理的のことを少し加えておきたいと思ひます。

われわれ日本人は 1 日 15 グラム(年間約 10 キログラム)が必要だといわれていますが(筋肉労働者は 20~

第 4 表 海水中の微量元素
(海水 1 トン当たりのミリグラム)

元 素	含有量	元 素	含有量
ストロンチウム	8,000	バナジウム	3
ホウ素	4,000	ウラン	3
ケイ素	2,000	銅	2
フッ素	1,300	チタン	1
窒素	1,000	マンガン	0.7
ルビジウム	100	ニッケル	0.7
リチウム	90	セシウム	0.5
バリウム	50	コバルト	0.5
ヨウ素	50	水銀	0.3
亜鉛	10	スズ	0.3
モリブデン	10	ビスマス	0.2
燐	10	タングステン	0.1
アルミニウム	7	ゲルマニウム	0.06
ヒ素	5	クローム	0.06
セレン	5	銀	0.02
鉄	4	金	0.02
鉛	4	ラジウム	2×10 ⁻⁸

25 グラム、高熱労働者は 40~60 グラム)、肉食の多い欧米人は 1 日 11 グラム程度の由です。すなわち、菜食の多いものは塩を余計必要とするので、牛・馬などは 1 日 30~40 グラム必要だといわれます。しかし動物園などでは肉食動物のライオン、虎などには特に塩を与えないとか、最高はカバ 560 グラムという話です。

人間の体内には 4~5% の塩類がある由で、もし塩の補給をしないと 2~3 日で気力がなくなり、1 週間もすると立ち歩く元気もなくなるといわれております。汗は 0.2~0.5% の塩を含むので乾くと塩ができるわけで、猿が“のみ”をとっているといわれるのは実は汗による塩をとって食べているのだそうです。

盛り塩といって料亭などで塩を盛るのは、昔秦の始皇が多くのお姫を抱え、牛車に乗って牛の歩みにまかせて美女のもとに通ったところ、賢い女がいて牛の好物である塩を家の前に盛って牛の歩みをとめさせて、皇帝の寵を得たという言い伝えに由来するのだということです。

塩の本来の字は鹽と書くのであって、これは臣が皿の上に塩をのせ御幣を立てて神に供える姿だということで、塩がいかに神聖で貴いものとされていたかが想われる次第であります。

塩は純白であって、不純な細菌など寄せつけません。したがって浄めの意味でもよく用いられます。しかし塩の価格は安く、日常ほとんどその価値は認められませんが、塩があるため日々が楽しく過ごされるばかりでなく、ひいては生活上欠くべからざるものでもあるわけです。

塩の研究にたずさわっているわたくしは常々“塩のようでありたい”と思っている次第であります。

(1961年3月22日受理)