凍結防止剤の生産と流通

— その生産・流通過程における品質素因と留意点について —

Production and Marketing of Salt (sodium chloride) for Ice and Snow Control

阿 部 公 一*・高 橋 徹*
Koichi Abe Toru Takahashi

1. はじめに

高速道路を管理する重要な仕事の一つに、凍結防止剤を用いた冬期の路面管理がある。全国的高速道路に散布される凍結防止剤は、年間累計降雪量と大きく相関して変動するものの、供用延長とともに増加し、一冬当たり約20万トンに達している。

その内、NEXCO 東日本は東北6県的高速道路1,266 Kmの管理に、年間約5.8万トン（平成15～19年度の5ヵ年平均）の凍結防止剤を使用している。

これだけ大量に使用されているが、高速道路の路面管理を担当している関係者にも、意外にその生産・流通の実態が知られていないのは、どの地域も事情は同じだろう。

日本で使用される凍結防止剤の大部分は、海外から工業塩として輸入される塩（NaCl）で、海水を塩田に引き込んで生産する「天日塩」である。一部には、「岩塩」と誤解している人もいるが、日本で「岩塩」が使用されることはない。

このほど実際に関連する塩田や諸施設を見学するなど、凍結防止剤の生産・流通の一端を知る機会を得た。良質な凍結防止剤をより効率的に調達するには、凍結防止剤の生産・流通経路を理解しておくことが大切であり、紙面をかりてその事情の一端を紹介する。

2. 日本における道路用塩・凍結防止剤の使用量

日本全国における塩の全消費量は年間約910万トンで、そのうち約720万トン（約79%）はソーダ工業用に、105万トン（約11%）は食品工業用に使用されていて、全消費量の9割は両者によって占められている（図-1）。

図-1 日本における塩の需要量（平成19年度）

財務省 website 19年度報道発表 塩需給実績より
(http://mof.go.jp/jouhou/sonota/sio_tbk/)

財務省統計によれば、日本全国で「融氷雪用」塩は、過去6ヵ年平均では年間約50万トン使用されており、使用量は年を追うごとに増加傾向にある。

3. 日本の塩製造業と輸入塩

a. 日本の塩工場

かつて日本では全国各地に製塩個所があり、塩田で入浜式や流下式によって塩を製造していた。しかし、日本は高温多湿な気候で、製塩は天候に左右されるため、塩分濃度がわずか3%の海水から大量の

* (株)ネクスコ・メンテナンス東北

塩を製造するには、塩田で海水を濃縮してできた鹹水(かんすい)を煮詰めて塩を取り出さざるをえず、多大なエネルギーを必要とする。

一方、天日製塩法は海水を原料とし、文字どおり太陽エネルギーにて海水を濃縮して塩を製造する方法であり、天候等の自然環境と広大な塩田に恵まれれば、本来、製造費用は非常に小さい。日本は周囲を海洋に囲まれているとはいえ、広い土地を有し、海水を塩田に引き込んで1~2年間放っておけば塩の結晶が採れる諸外国とは事情が大きく違うのである。

そのためイオン交換膜法による製塩法を開発し、許可制のもと民間会社がイオン交換膜法で塩の製造を行っていた専売制度時代の7社7工場体制(瀬戸内5工場、長崎1工場、いわき1工場)から、現在4社6工場の製塩体制になった。このうち、何がしかの「道路融雪用塩」を出荷しているのは3社5工場である。

b. イオン交換膜法による製塩

天日製塩法は水を蒸発させて製塩するため析出残留する塩に不純物を含みやすいが、イオン交換膜法はイオンを電氣的に引き寄せて濃縮するため、海水が有害有機物に汚染されていても、濃縮されて塩に混入することではなく、純度の高い塩を製造することができる。そのため、生活用および食品工業用の塩の多くは、純度の高い塩を製造することができるイオン交換膜法により国内工場で製造されている。

そこで製造する塩の結晶は、通常、粒径が0.4mmと小さく、普段高速道路で使用している凍結防止剤ほど大きな粒径にならない。粒径を大きくするには、あたかも「おむすび」を作る要領で、細粒の塩どうしを固めて造粒成型する必要があるが、諸外国で生産される天日塩に比較して製造コストが高く、一般に凍結防止剤には不向きだが、製塩工場に近い一部の高速道路・国道等で使用されている。

イオン交換膜法で製塩するには、海水ろ過装置、採かん工程(濃縮工程)、せんごう工程(結晶化採塩工程)の3段階を経る。ろ過装置を通過した海水は、イオン交換膜に挟まれた濃縮室で塩分濃度20%前後まで濃縮され、かん水ができる。それを取り出

写真 真空式製塩法によるせんごう工程(蒸発缶)

して蒸発缶でさらに濃縮し塩の結晶を得たあと(真空式製塩法)、遠心分離機で脱水する。日本の代表的な製塩工場の年間生産能力は20万トン程度である。

4. 天日製塩法による一般的な製塩方法

海水に含まれる総塩類量は海水の3.5%である。そのうち、NaClは塩類全体の78%を占めており、NaClは海水に2.72%(重量比)含まれている。

海水を塩田に引き込み、太陽熱と風で水分を蒸発させる天日製塩法は、一般に4段階の工程を経るが、それぞれの工程に応じて塩田が区分されている。

〈第1段階 貯水池〉

原料となる海水を貯水し、浮遊物、泥土などを除去する(沈殿)。

〈第2段階 蒸発池(濃縮池)〉

複数の区画池からなり、これらの蒸発池を海水が流れる間に、海水を飽和溶液となるまで蒸発濃縮し濃縮かん水を得る。この間に、酸化鉄、炭酸カルシウム、硫酸カルシウム(石こう)が順次結晶・析出して塩田に沈殿して除去される。

〈第3段階 調整池〉

濃縮かん水を体積が1/40に減少・濃縮された飽和かん水(NaClの飽和溶液)になるまで濃縮し、夾雑物を除去する。

〈第4段階 結晶池〉

結晶池は複数の池からなり、濃縮された飽和かん水から、NaClの85%が結晶塩(真塩)として得ら

れる。結晶した塩はその都度採塩せず、結晶池の上に新たな濃縮かん水を注入して結晶させる作業を数回繰り返す。

天日塩結晶の大きさ・形状は、その析出・成長速度によって決まる。結晶池を浅張りにすると、結晶の析出速度が速いので多数の小粒結晶となり、水深を深く厚張りにすると、大粒で緻密な結晶が得られる。小粒の結晶は表面積が大きく、付着する母液や夾雑物が多くなり、塩の品質は劣る。

雨期のないメキシコやオーストラリアの塩田では、深張りとしてゆっくり結晶成長させるため、純度の高い塩ができる。一方、雨期のあるアジアでは、乾期である短期間に採塩しなければならないため浅張りにせざるをえない。

その後析出した結晶塩をすき起こしてすくいとり、残りの水分（母液）をしたたり落として、にがり排出池に排出する。

〈にがり排出池〉

一般に結晶池で採塩された塩をかん水で洗浄し、貯塩場に野積みして水分をしたたり落として、にがり排出池（苦汁池）に排出する。

このにがり排出池に排出される液には、「にがり」の主成分である塩化マグネシウムや塩化カリウム等を含むが、これら微量塩を含んでも本来無色透明であるが、海水に含んでいた土粒子や有機物等の不純物を含むと茶褐色を呈する。

さらに、このしたたり落ちた液には依然15%のNaClを含むため、塩の製造歩留りを上げるために、この液をすでに析出した塩にかけてNaClの結晶を成長させ、その後、遠心分離機で水分を除去して結晶塩を採取したり、次のかん水に混ぜて結晶させたりする場合がある。

塩田濃縮では、原料である海水が汚濁していると、

不純物の大部分は濃縮されてにがりに残るため、こうした工程を経る場合、不純物の一部が付着母液に伴って天日塩の表面に付着し着色することがある。また、結晶池では高度好塩菌が繁殖し、塩が赤色や淡紫色になることがある。この結晶塩に付着した不純物を除去するには、さらにかん水と海水で塩を洗浄する必要がある、洗浄すると真っ白いきれいな塩になるが、中国の塩田では、一般にこの洗浄を行っていない。そのため、表面海水を原料としている塩田で生産される塩について、その品質管理が特に重要である。

5. 諸外国の塩田と塩の輸入

前述したとおり、2007年度の日本における塩の需給量は910万トン、供給量は914万トンで、その内訳は国内産が114万トン（12%）、外国産が800万トン（88%）で、ソーダ工業用は全て、凍結防止剤用のほとんどが輸入塩である。

塩の輸入元の内訳は同じく2007年度において、およそメキシコから488万トン（53%）、オーストラリア334万トン（37%）、インド73万トン（8%）、中国14万トン（2%）である。

更に2008年度の場合、高速道路に使用された凍結防止剤総量約20万トン（契約ベース）の内、国内塩は0.7万トン（4%）、輸入塩の輸入元はメキシコ8.8万トン（45%）、オーストラリア4.3万トン（22%）、中国5.8万トン（29%）であった（表－1）。

これほど大量の塩が輸入されるのは、天日製塩法による輸入塩の製造価格が国内塩に比較して廉価なためである。特に中国塩は、製塩コストもさることながら、メキシコ塩・豪州塩に比較して輸送距離が短く価格優位性が高いといわれている。

なお最近、輸入塩の価格が急騰しているのは、燃料高騰によって唐船費と国内の輸送費が大きく影響

表－1 塩の輸入元と凍結防止剤の原産国（平成19年度）

（単位：万トン）

項目	メキシコ	オーストラリア	インド	中国	日本	計
塩の輸入元	488 (53%)	334 (37%)	73 (8%)	14 (2%)	—	909 (100%)
高速道路で使用する 凍結防止剤 原産国	8.8 (45%)	4.3 (22%)	0 (0%)	5.8 (29%)	0.7 (4%)	約20

を受けているためである。

a. メキシコ

メキシコの最大規模の塩田の一つが、カリフォルニア半島の中央にあるゲレロ・ネグロ (Guerrero Negro) 塩田である。この塩田は、少ない降水量、豊富な日照と風といった恵まれた環境にあり、塩田の総面積は約3.3万 ha あり世界最大の規模を誇り、年間約7百万トンの塩を生産している。その半分以上を日本に輸出するとともに、世界各国に出荷している。

この塩田を経営する会社 Exportadora de Sal 社 (ESSA) は、日本の総合商社A社とメキシコ連邦政府が共同出資した合弁会社で、日本に輸入されるメキシコ塩は、このゲレロ・ネグロ塩田産の塩である。

まず、海水は隣接する Ojo de Liebre ラグーンからポンプを使って蒸発池に引き込まれ、その後、結晶するまで2年間かけて塩田内を巡る。海水は徐々に濃度を高めながら蒸発池を移動し、NaClの飽和溶液となって結晶池に移動する。メキシコやオーストラリアの塩田では、結晶池に移動した飽和かん水は、以前にできたソルトベットのの上に新たに塩を層状に結晶させる。

こうしたプロセスを数回繰り返すうちに、結晶池のソルトベットは15cmの厚さに成長する。ソルトベット状に結晶した塩は、大型機械を使って効率よく彩塩され、洗浄プラントに運ばれる。

不純物を洗浄した塩は、ラグーンの外の Cedros 島にある貯蔵エリアに運ばれ、その間に洗浄工程で含んだ水分をしたり落とし、自然乾燥しながら貯蔵される。

日本には17万トン級の輸送船で運ばれるが、17万トン級の船が寄港できる場所は限られるため、一旦、メキシコ塩専門の集積所である広島県の三ツ子島または横浜国際埠頭へ荷降ろしされたあと、1万トン級の船へ塩を積み直し国内各地へ搬出される。

東北ではこのメキシコ塩を凍結防止剤の原料としている粉碎工場が仙台にあり、三ツ子島から仙台港に内航船で運搬される。

図 ゲレロ・ネグロ塩田の位置（メキシコ半島）

写真 ゲレロ・ネグロ (Guerrero Negro) 塩田の全容

写真 ソルトベットの上で採塩の様子塩の採集

写真 塩の積み出し港
広島県三ツ子島に荷揚げした塩

上図2枚、写真3葉はA社の提供による

b. オーストラリア

オーストラリアの塩田の大部分は年間降水量が少ない西海岸にあり、代表的な天日塩の生産・販売会社はダンピア・ソルト社である。日本の商社（複数）も出資しているこのダンピア・ソルト社は、年間420万トンの生産能力をもつダンピア塩田のほか、レーク・マクレオド塩田（150万トン/年）、ポート・ヘッドランド塩田（320万トン/年）を合わせた3塩田3積港体制をとっている。

最大の生産規模をもつダンピア塩田は、年間平均降水量が240mmで、塩田の総面積は広大な蒸発池を中心に約1万haで、結晶池だけでも1,245haもあり、生産された塩の半分以上が日本に輸出されている。ここでの塩の生産工程は、メキシコのゲレロ・ネグロ塩田とはほぼ同じである。

日本に輸入される豪州塩のうち、毎年約3～4万トンが秋田県能代港に荷揚げされ凍結防止剤の原料となる。

図 西オーストラリア州の塩田所在地

写真 ダンピア塩田（全景）（B社の提供）

写真 秋田県能代港での荷揚げ（船内作業）

c. 中国

中国の沿岸部、特に渤海（ホーハイ）や山東半島を中心とした河北省・山東省の沿岸部に大規模な塩田があり、天津・濰坊（ウェフアン）を中心に天日塩の生産が行われている。中国の南部にも塩田はあるが、日本に輸入される中国塩の大部分は輸送距離が短い河北省・山東省の沿岸部の天日塩である。

そのうち最も代表的な塩田が、「百里塩田」と呼ばれている河北省天津の塘沽（タングー）塩田と濰坊塩田である。この塘沽塩田は渤海に面していて、面積が1,393万haで年間約100万トン以上の塩を生産している。後者の濰坊塩田は萊中湾から10～20Km内陸部にあり、地下から汲み上げた濃縮塩水（天然かん水、塩濃度13%）から、年間約200万トンの天日塩を製造している。

塩田での生産工程はメキシコや豪州と大きな違い

図 天津市塘沽塩田と濰坊塩田の位置

はない。しかし塘沽塩田は、通年にわたって降水量の少ないメキシコや豪州と異なり、塩の結晶化と採塩は4月、5月、6月の春季と秋の一時期に限定される。

メキシコ・豪州塩は、2～3年をかけてゴルフボール大に結晶させているが、中国塩は短期間で製造されていて、塩の結晶は大きくはない。しかも結晶池はソルトベットの形態をしておらず、あたかも水田のようで、採塩の際に塩田の土砂が混入する懸念が

写真 レンガで区画された結晶池（濰坊）

写真 貯蔵塩の積み込み（天津）

写真 中国塩荷役状況（大船渡港）

ある。

近年、中国の沿岸部の経済発展が著しく、臨海部の土地利用が多様化している。塘沽塩田の付近も例外ではなく、天津市の市街化が塩田のすぐそばまで迫っていて、海水の汚濁も懸念され、産出される塩の品質管理に一層の留意が必要である。

凍結防止剤用に日本に輸出する場合、製塩会社は決められた粒度になるよう中国国内の粉碎工場で粉碎し、フレコンバックに袋詰めして3,000トン級の船で日本の港に輸送する。すなわち、メキシコ・豪州塩は半製品の形で輸入され国内工場で凍結防止剤に製品化するが、中国塩の場合、完成品として輸入されているわけである。

6. 生産地による塩の品質の違い

先に塩の品質には、蒸発池（濃縮池）における蒸発濃縮工程や洗浄工程が大きな影響を及ぼすことを指摘した。その他に、単に天日塩といっても、表面海水を蒸発させて生産する天日塩と、中国・濰坊塩田に代表されるような地下から汲み上げた濃縮塩水（天然かんすい）を素に生産している天日塩とでは、その生産塩の品質に自ずと違いが予想される。

輸入塩の成分分析結果を比較した結果、一部、中国塩について硫酸イオン、カルシウム、マグネシウムが多く、原料となる塩水の成分ないし濃縮工程の管理の違いが予想され、継続的に調査する必要がある。

7. 日本国内での凍結防止剤の流通

a. 輸入塩の粉碎設備

全国に塩の粉碎加工工場は10箇所前後あると思われるが、そのうち東北地方で凍結防止剤を生産している粉碎工場は秋田県能代市と宮城県仙台市の2箇所である。

中国からは粉碎塩を輸入しているが、メキシコ・豪州塩は、凍結防止剤の使用地域に設備された粉碎工場で、一定の粒度（NEXCOの場合、平均粒度が $0.5 \leq D_{50} \leq 3.5 \text{ mm}$ 、最大粒度11.2mm）となるよう粉碎し粒度調整する。

メキシコ・豪州塩の場合、原塩の含水比が通常

2.5%程度あり、そのままの状態では固結の原因となる。そのため、粉碎する前処理として重油を燃焼して加熱し、含水率が1%以下となるよう乾燥する。

粉碎した凍結防止剤は容量1トンのフレコンパックに詰め込まれ、貯蔵・出荷される。

b. 運搬・流通・保管

粉碎されてフレコンパックに入れられた凍結防止剤は平ボディの大型トラックで、サイロ方式の雪氷基地にはダンプトラックにバラ状の凍結防止剤を積載して運搬する。

一方、フレコンパックに入れられた中国塩は、2,000~3,000トンクラスの運搬船で運ばれ、日本の港に荷揚げされた後、港付近の倉庫に貯蔵される。雪氷基地からの注文に応じて、この倉庫から逐次搬出されるが、中国から出荷され雪氷基地に納品されるまで、一度も乾燥工程を経ることがないので、この間、水分を増加させないよう保管に注意が必要である。

塩はその置かれた状況によって吸湿・放湿するが、吸湿側から放湿側に切り替わる境目の相対湿度を臨界湿度と呼ぶ。純粋な塩の臨界湿度は75%で、夏季などに相対湿度が75%以上になると、塩は吸湿して湿ってくる。塩の表面に塩化マグネシウム等の不純物が付くと、その付着量に応じて臨界湿度は低下する。

冬期間に使用しなかった凍結防止剤を、湿度の高い夏季を通して保管するなど、臨界湿度を上下反復するような湿度条件に置くと、塩は吸湿・乾燥を繰り返して、塩は硬く個結してしまう。倉庫や雪氷基地で凍結防止剤を保管する場合、湿度に注意しなければならない所以である。

8. あとがき

高速道路の建設・保全には様々な資材を利用して、中にはアスファルトのように100%輸入に頼っている資材もあるが原料素材である原油を輸入しているのであって、アスファルトは国内の精製工場で生産されていて大部分が国内製品である。

世界経済がグローバル化し、高速道路の保全管理に欠かせない凍結防止剤は、塩の世界的な生産・流通・価格形成メカニズムの中にある。高速道路の冬季路面管理に欠かせない凍結防止剤を、品質を確保しつつ確実に安価に入手するには、もっと凍結防止剤の組成・生産・流通に関心を払う必要がある。この報告がその一助になれば幸いである。

〈参考文献・資料〉

- a. 財務省理財局たばこ塩事業室発表「塩需給実績」より
- b. 「塩の科学」橋本壽夫，村上正祥，朝倉書店，2003.6