

## 海塩粒子飛来挙動に関する研究\*

中安 文男<sup>\*1</sup>

### Study on Sea Salt Particles Flying Behavior

Fumio NAKAYASU<sup>\*1</sup>

<sup>\*1</sup> Department of Applied Nuclear Technology

Spent nuclear fuel, which is used in nuclear power plants, contains useful fissile material such as plutonium. Spent nuclear fuel is stored in spent nuclear fuel interim storage facility until it is re-processed. Spent nuclear fuel interim storage facility is built in coastal and is designed to provide natural cooling. Behavior evaluation of sea salt particles (Environmental contamination factor) is important for facility design.

In this study, we developed a new measurement device for flying sea salt amount, replacing the dry gauze method that is defined JIS have been conventionally used. The new measuring device was confirmed experimentally, to have a better performance than dry gauze method. By using the new measurement device, we measure the relationship between the flying sea salt amount and the distance from the shoreline. We confirm the amount of flying sea salt particles is reduced with increasing distance from the shoreline, and it is increased with increasing height from the sea level.

**Key Words :** Sea Salt, Interim Storage Facility, Spent Nuclea Fuel, Environmental Contamination Factor, Corrosion

## 1. 緒 言

資源の乏しい我が国で、限りある資源を有効活用するために原子燃料サイクルは必要不可欠である。原子燃料サイクルにおいては、原子力発電所から取り出された使用済原子燃料は、青森県六ヶ所村の日本原燃株式会社の再処理施設で再処理される予定である。2014年2月28日現在、日本の原子力発電所はすべて停止中であり、日本原燃の再処理施設も未だ稼働を開始していない。日本のすべての原子力発電所が稼働した時、再処理施設が本格的に機能を果たしたとしても、再処理能力より使用済原子燃料の発生量の方が多いため、使用済原子燃料中間貯蔵が必要になる。現在、青森県に建設中のリサイクル燃料貯蔵施設は、この使用済原子燃料内に残存するプルトニウム等の有用性に着目し、使用済原子燃料をリサイクル燃料と呼び、施設名称にもこれを使用している。

使用済原子燃料に含まれる放射性物質から放出される放射線は、そのエネルギーは大きく、強度も強い。放射線防護上の必要性から、使用される使用済原子燃料輸送容器は内容物込み重量で約100トンと重く、海上輸送されることが通例である。輸送の利便さから、我が国のすべての原子力発電施設は沿岸地域に設置され、青森県の再処理施設も沿岸地域に設置されている。現在建設中の「リサイクル燃料貯蔵施設」も、沿岸地域に設置されているが、これ以外の使用済原子燃料中間貯蔵施設の建設も、また沿岸地域に建設することが計画されている。

使用済原子燃料には、放射能の強い核分裂生成物が含まれ、また崩壊熱による発熱がある。使用済原子燃料中間貯蔵施設での保管期間は50年以上と計画されているので、安定した冷却が必要である。これらの条件を踏まえて、使用済原子燃料中間貯蔵施設が他の原子力関連施設と異なるところは、建屋内冷却方式にある。使用済原子燃料中間貯蔵施設は、建屋内冷却を自然風による冷却方式（以下、自然冷却方式という）を採用のに対し、他の原子力発電関連施設は、強制冷却方式を採用している。自然冷却方式の利点は、冷却に電源を要しないことであるが、反面、冷却風に含まれる環境汚染因子による構造物腐食に配慮を行う必要がある。筆者らは、海塩粒子飛来量の季節変動研究<sup>(1)(2)</sup>、海塩粒子流入防止フィルターの性能評価等の研究を行ってきた<sup>(3)(4)</sup>。

\* 原稿受付 2014年2月28日

<sup>\*1</sup> 原子力技術応用工学科

E-mail: nakayasu@fukui-ut.ac.jp

本研究では、従来使用してきた海塩粒子飛来量測定（JIS Z 2382 ドライガーゼ法）に代わる「吸い込み法」の開発、その有用性の検証及び「吸い込み法」を用いた海塩粒子飛来量評価を海岸線からの距離及び海面からの高さパラメータとして行った。

## 2. 実験方法

### 2.1 JIS ドライガーゼ法（以下 JIS 法）

JIS ドライガーゼ法とは、海塩粒子付着量を測定するための日本工業規格の JIS Z 2382『大気環境の腐食性を評価するための環境汚染因子の測定』で定められた手法である。一定面積をもつ 2 枚重ねのガーゼを、風雨等の気象因子の影響を受けない状態（遮へい暴露試験という）で暴露すると、ガーゼ表面に塩化物等の環境汚染因子が捕集される。この環境汚染因子を化学分析によって定量する。分析結果から、塩化物等の付着度を計算し、平方メートル・日当たりのミリグラム[ $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{day})$ ]の単位に規格化する。JIS 法には Fig.1 のようなドライガーゼプレートを用いる。ドライガーゼプレートは捕集枠とガーゼからなる。捕集枠は内寸法  $100 \times 100 \text{mm}$  の部分にガーゼが露出するように設計された保持枠である。その捕集枠に塩化物のついていないガーゼを二枚挟み込む。

ドライガーゼプレートは暴露するまでポリエチレン袋に保管する。海塩粒子飛来量を測定する場合、遮へい暴露試験装置内にドライガーゼプレートを設置する。暴露を終了したドライガーゼは捕集枠から取り外し、分析までポリエチレン袋に入れて保管し、分析は以下の手順で行う。その後、測定試料溶液を調整しイオンクロマトグラフで海塩粒子のイオン濃度を測定する。

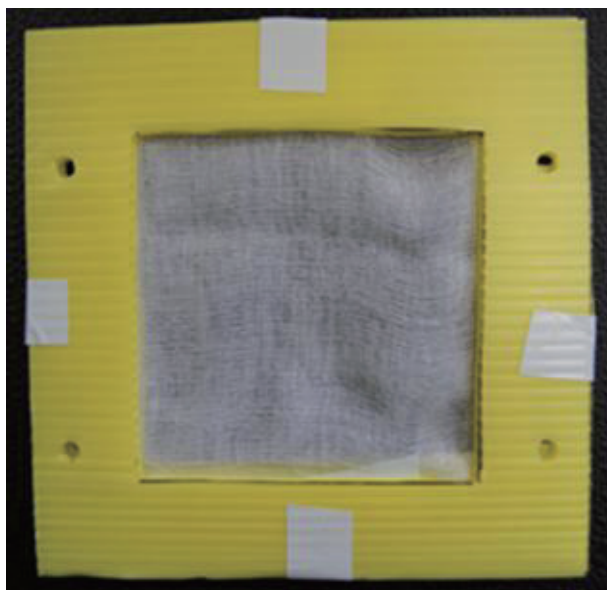


Fig.1 Dry gauze plate

- 1) ガーゼを細かく切断し 100mL のビーカーに入れる。
- 2) 蒸留水 50mL を加えて水浴中で 30 分間加熱する。
- 3) 冷却した後、JIS P 3801 の 5 種 C のろ紙を用いてろ過し、さらに蒸留水でろ紙を洗浄してろ液を 50mL とし試料溶液とする。
- 4) イオンクロマトグラフでの化学分析を JIS K 0101 に準じて行い、海塩粒子の飛来量を  $\text{mg}/\text{m}^2/\text{day}$  の単位に規格化する。

### 2.2 吸い込み法

吸引ポンプ（柴田科学製ハイボリウムエアサンプラー HV- 500R- 4S 型）の吸引部にガーゼを設置し、吸引して海塩粒子を捕集する。回収したガーゼを JIS 法と同様に処理し、イオンクロマトグラフで化学分析する。吸引ポ

ンプの吸引部の直径は 100mm, 吸引流量は 800L/min と一定にした。

Fig.2 の上部右側は、吸引ポンプ A の吸引部に JIS P 3801 の 5 種 C のろ紙を装着して試験したときの様子である。ろ紙の保留粒子径  $1\mu\text{m}$  であり、効果的に海塩粒子を捕集出来るのではないかと期待した。

実際に試験すると、ドライガーゼに比べて通風性が悪く吸引時により多くの力が必要になり、吸引ポンプに大きな負荷を与えてしまい、吸引性能が十分に発揮されていないことが判明したので、この方法は不適切とした。本研究における吸い込み法では、Fig.2 の左側に示すように、吸引部には JIS 法に使用したと同仕様のガーゼを使用して実験を行った。なお、吸い込み法と JIS 法との比較評価のために、JIS 法に定められたドライガーゼによる測定も同時に行った。この状態も Fig.2 に示している。本試験は 1 時間測定であったため、JIS 法は遮へい暴露試験ではなく、風雨に晒される開放暴露試験で行っている。

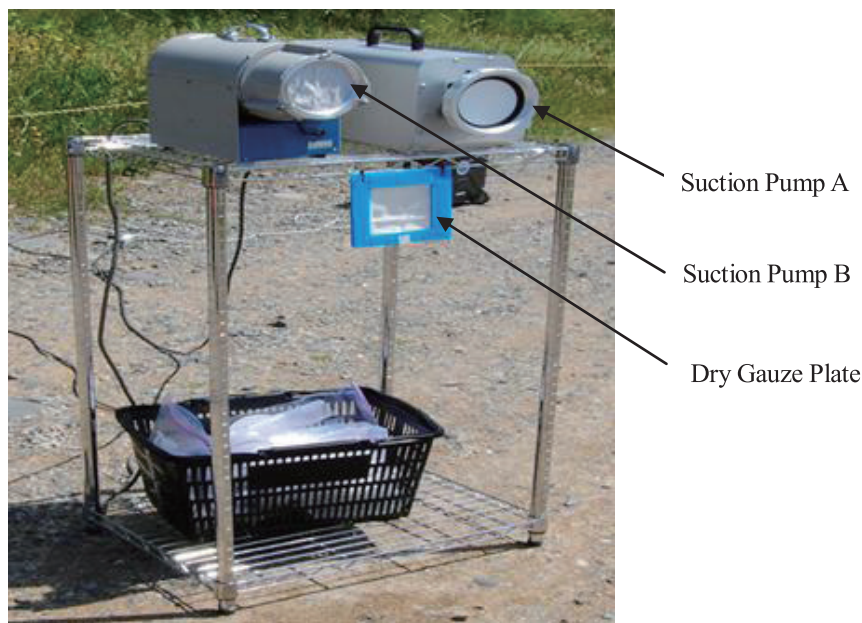


Fig.2 Suction method

### 2.3 イオンクロマトグラフ

溶離液（移動相）中に注入された試料は、イオン交換樹脂を充填した分離カラム（固定相）によって分離される。サプレッサで溶離液（移動相）のバックグラウンドを低減させた後、検出器で伝導度を測定して各種イオンの濃度を定量する。溶出時間（保持時間）はイオン種毎に異なるため、保持時間からイオン種を定性する。本研究に使用したイオンクロマトグラフは、Fig.3 及び Fig.4 に示す Metrohm 861 Advanced Compact IC であり、分離カラム Shodex IC SI-90-4E を用いた。

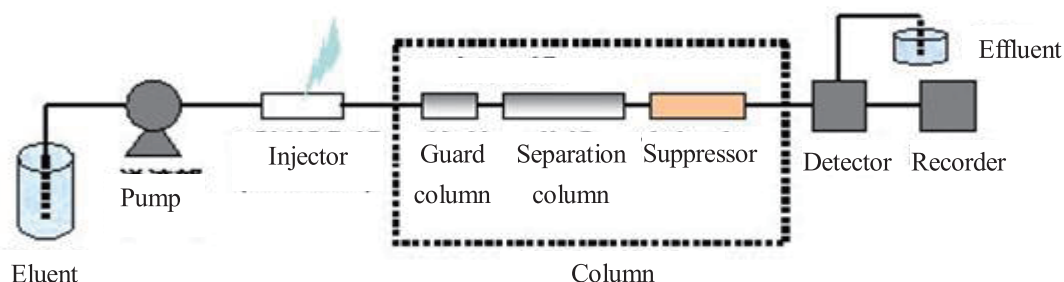


Fig.3 Ion chromatograph conceptual diagram

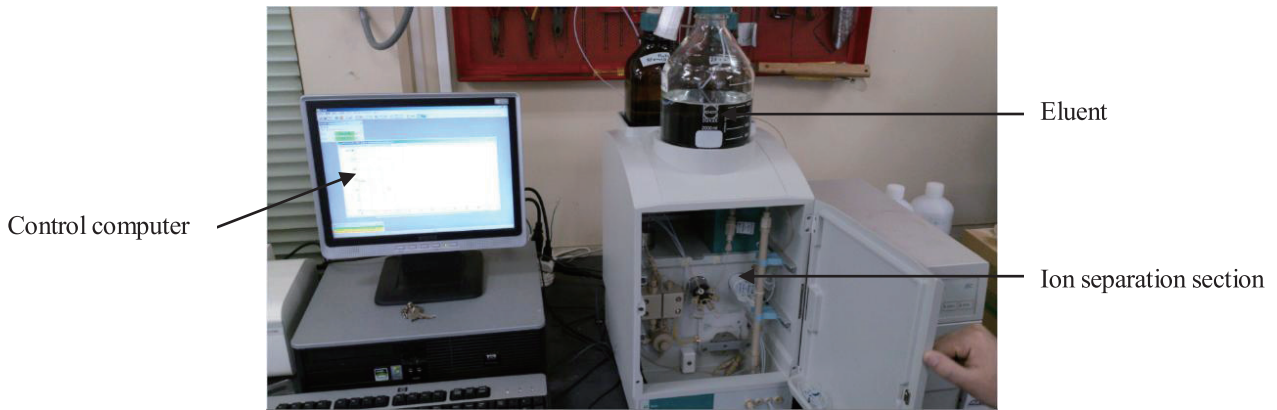


Fig.4 Ion chromatograph

### 3. 実験結果

#### 3.1 吸い込み法評価

日本海海浜地区(あわら海岸)に Fig.2 のような試験装置を海岸側に向けて設置し、JIS 法と吸い込み法の 2 つの方法で同時に 1 時間の海塩粒子飛来量の測定を行った。それぞれの測定結果を比較検討し、吸い込み法を評価した。Fig.5 から明らかなように、JIS 法と吸い込み法の測定結果には相関関係があり、直線近似を仮定した場合、相関関数は約 0.82 と比較的高い相関を示すことが判明した。この場合の相関式は  $y = 2x - 8$  となる。但し、y 軸の切片が -8 となり物理的に意味を持たないので、一次曲線ではない相関を今後検討する必要がある。

JIS 法では、回収したドライガーゼプレートからガーゼを取り外し、捕集枠を洗浄・乾燥し、再び捕集枠にガーゼを装着する、といった手順が必要であるのに対し、吸い込み法ではドライガーゼを直接脱着するだけで良いので、これらの手順を省略することができる。しかし、吸い込み法では吸引ポンプを動かすために電源が必要である。吸い込み法は、吸引ポンプで周辺空気を吸い込んでいるため、風向や風速によらず安定して海塩粒子を捕集できるのではないかと考えている。また、空気を吸い込むことで、ガーゼを暴露する JIS 法と比べてより短い

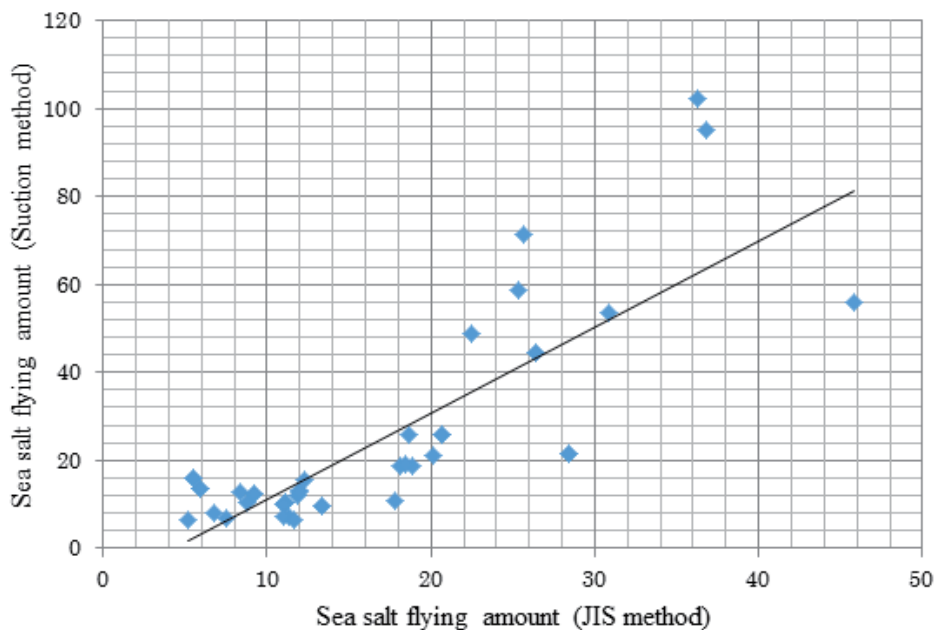


Fig.5 Comparative evaluation between JIS method and suction method



測定時間で海塩粒子を捕集できる可能性はある。

以上のことから、吸い込み法は JIS ドライガーゼ法に代わる海塩粒子飛来量測定の手法として充分実用に耐えることができ、さらに今後の検証でより利便性の高いものになる可能性が高いということが分かった。

### 3.2 海岸線からの距離による海塩粒子飛来量変化の測定

海岸線からの距離によって海塩粒子の飛来量がどう変化するかを測定するため、海岸線からの距離を 50m, 100m, 150m, 400m と変化させた短距離試験は、福井県あわら市波松地区の海岸において実施した。海岸線からの距離を 5km, 10km, 15km, 20km と変化させた長距離での測定は、福井県坂井市雄島を起点とし九頭竜川沿いで実施した。短距離試験及び長距離試験とも JIS 法と吸い込み法を併用した。

Fig.6 及び Fig.7 に距離による海塩粒子飛来量変化を示している。短距離の測定では、海塩粒子飛来量は海岸から内陸に向かって単調に減少しているが、長距離の測定結果では、海塩粒子飛来量の減少は 10km 程度まで続くが、10km を越えると距離が増加しても、海塩粒子飛来量は減少していないという結果が得られた。海塩粒子は、海面から大気中に放出された微少液体が液滴の状態か、乾燥した粒子の状態で存在するものである大きな液滴は

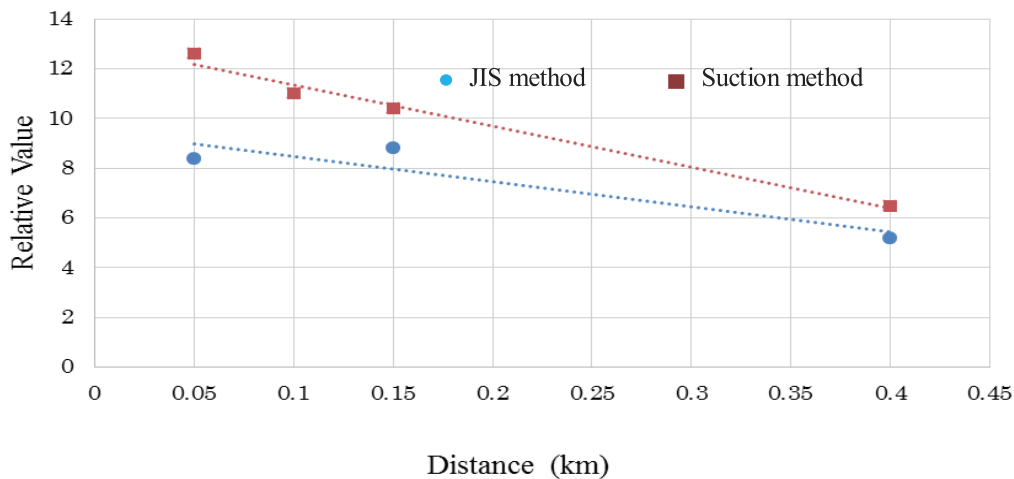


Fig.6 The change of sea salt flying amount due to the distance (short distance 50~400m)

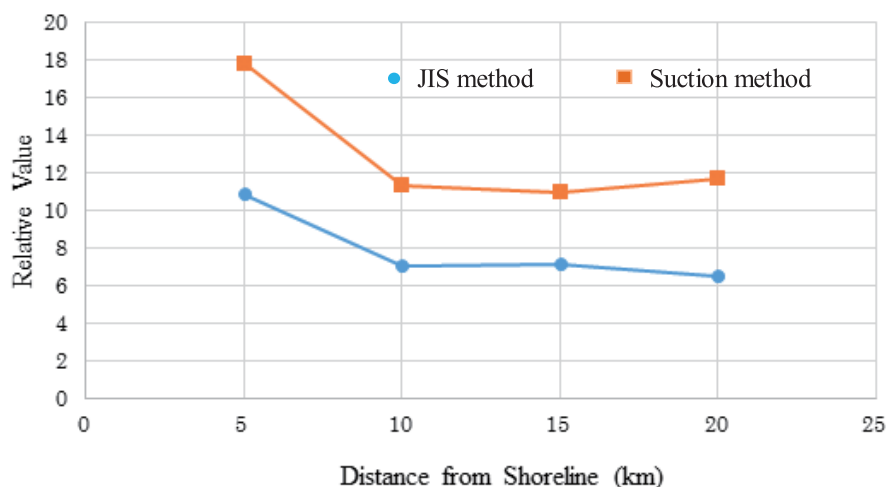


Fig.7 The change of sea salt flying amount due to the distance (long distance 5~20km)

生成後直ちに海面に落下してしまう。微小液滴又は微小液滴が乾燥した海塩粒子は、風によって内陸部に運ばれる。海岸線からの距離が増加するにつれて、微小海塩粒子の内、相対的に大きなものは落下し、相対的に小さな海塩粒子のみが内陸部に運ばれていくことになる。ある距離を超えると、風による浮力と重力が拮抗し、落下しなくなりすべての海塩粒子が飛び続けることになる。この現象は、気象因子（風向、風速、温度、湿度、雨量など）に影響を受けると共に、測定地点までの人工構造物、地形などにも強く影響される。Fig.6 及び Fig.7 から明らかなように吸い込み法の測定値が、常に JIS 法の測定値を上回る。これは吸い込み法では、一定風量が捕集部を通過しているのに対し、JIS 法では捕集部を通過する風量は、風速に依存していることによる。

Fig.6 から明らかなように、短距離では海塩粒子飛来量と距離の間には、強い一次の相関が見られる。Fig.7 に示す長距離では一次の相関は見られない。

### 3.3 海面からの高さによる海塩粒子飛来量変化

海面からの高さによって飛来海塩粒子飛来量がどう変化するか測定した。距離による。海塩粒子飛来量距離変化

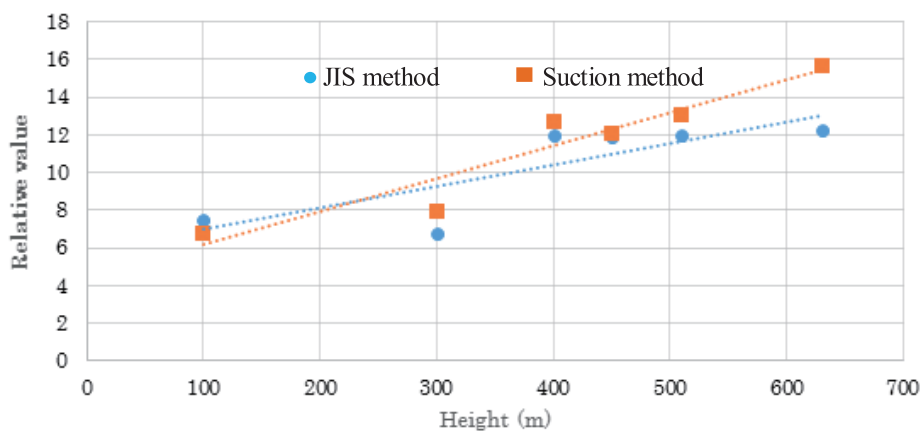


Fig.8 The change of sea salt flying amount due to elevation  
(Comparison between JIS method and Suction method)

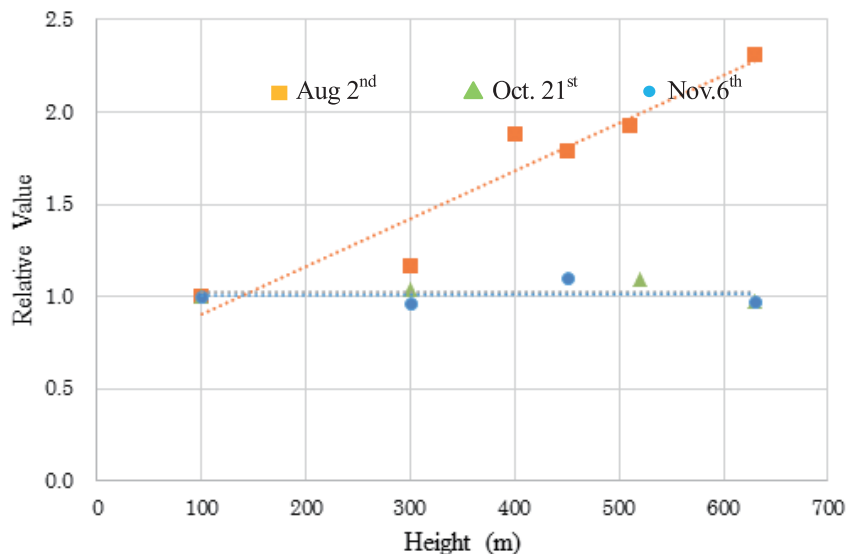


Fig.9 The change of sea salt flying amount due to elevation  
(Compare with the measurement date)

測定と同様に、測定地点の高さを変化させながら測定を行った。本測定は福井市西部の国見岳(標高 656.1m)で行い、測定地点はそれぞれ海面から 100m, 300m, 400m, 450m, 510m, 630m と変化させた。高さが高くなるほど、海岸線からの距離も増加しているが、すべての測定点は海岸線からの距離数 km 以内である。3.2 節に示したように、距離による海塩粒子飛来量変化は、海岸から 10km の範囲では、距離が大きくなるに連れて減少する。Fig.8 及び Fig.9 に示すように、海塩粒子飛来量は、高さの増加と共に、少なくとも減少はしていない。このことから、高さが増加すると、海塩粒子飛来量は増加していると考えられる。山の上では地上より海塩粒子飛来量が増加することが判明した。

Table 1 Weather conditions of each measurement date

Aug.2			Oct.21			Nov.6		
Time	Wind Speed	Wind Direction	Time	Wind Speed	Wind Direction	Time	Wind Speed	Wind Direction
14	2.8	N	14	1.1	N	14	1.5	NE
15	1.8	N	15	2.0	N	15	1.6	NNE
16	2.3	NNW	16	1.9	NNE	16	1.5	NE
17	1.9	NNW	17	1.5	EEN	17	0.9	EEN
18	2.0	NNW	18	1.9	EES	18	1.2	SSE
19	2.1	NNW	19	2.3	E	19	0.7	SE
20	1.6	NNW	20	1.6	EEN	20	0.3	S
21	1.5	EES	21	2.0	E	21	1.0	E

海面からの高さが高いほど海塩粒子飛来量が増加する理由については、海塩粒子を含む海からの風が山にぶつかった際に、山頂に向かって押し上げるような気流が発生しているためだと考えられる。また、上空を飛んできた海塩粒子にとって、建造物などの障害物がなく、進行を阻害されないことも理由の 1 つだと考えられる。山の上ではそれらが加算されて測定されるため、地上と比べて多くの海塩粒子が飛来するという結果を得た。

Fig.9 に示すように、8 月 2 日の測定結果が他の 10 月 21 日と 11 月 6 日の測定結果と異なっている。Table1 に示す様に、8 月 2 日は、北北西方向からの風、国見岳にとって海側からの風であった。海側からの風を受けた場合、高さが高くなるほど海塩粒子飛来量が増加し、それ以外の方向から風を受けても海塩粒子飛来量は、それ程増加しないという結果を得た。

この種の実験を行う場合、同一の気象条件で測定を行うことが望ましいとも考えられる。しかし今回の測定結果は、JIS ドライガーゼ法と吸い込み法の両方でよく一致していたので、測定方法は妥当であったと考えている。

#### 4. 結 言

今回の研究により、次のことが判明した。

吸い込み法については、JIS ドライガーゼ法との相関が高く、十分実用に耐えること、及び測定時間を短縮できる可能性があること。

距離による海塩粒子飛来量の変化については、海岸から内陸に向かうにつれて飛来量が減少すること、及び微小な海塩粒子は距離による飛来量の変化が少ないこと。

高さによる海塩粒子飛来量の変化については、山の上では海塩粒子飛来量は増加するが、気象条件に大きく影響を受けること。

#### 文 献

- 1) 福永忠, 滝下貴行, 中安文男, “使用済原子燃料中間貯蔵施設に影響する海塩粒子飛来量の評価”, 福井工業大学研究紀要, 42 号, pp.487-496.
- 2) 滝下貴行, 清水恒輝, 中安文男, “海塩粒子飛来量簡易測定法の開発に関する研究”, 福井工業大学研究紀要, 43 号, pp.331-340.
- 3) 中安文男, “原子力リスク低減研究 - 海塩粒子による日本海沿岸立地構造物の腐食 -”, 福井工業大学研究紀要, 第 37 号, pp.131-138.

- 4) 中安文男, “原子力リスク低減研究 - 海塩粒子による構造物の腐食 -”, 福井工業大学研究紀要, 第 38 号, pp.375-378.

(平成 26 年 3 月 31 日受理)