

論文 海岸における風況と飛来塩分量の相関に関する研究

当真 嗣竜^{*1}・東條 良太^{*2}・山田 義智^{*3}・湯浅 昇^{*4}

要旨: 本研究は、海岸に設置した Web 気象観測システムおよび周辺の気象庁の気象観測による風況（風向・風速）と飛来塩分量の相関について、沖縄県国頭村辺野喜海岸にて長期間の測定結果をもとに検討した。その結果、Web 気象観測システムにおける風況データと飛来塩分量との相関が高いこと、海岸から離れた気象庁の気象観測所の風況データは海岸での飛来塩分量と相関が低いことが確認された。また、空間補間法（IDW）や領域気象モデル（WRF）を用いて任意海岸での風況推定を行う方法についても検討したが、今回の検討においては、精度のよい推定結果は得られなかった。

キーワード: 風況, 飛来塩分, Web 気象観測システム, 空間補間法, 領域気象モデル

1. はじめに

1986 年の建設省（当時）による塩化物総量規制が通達されて以降、RC 構造物に、塩化物の初期混入による塩害が生じる可能性は低くなった。その一方、飛来塩分などに起因する外来塩分による塩害の事例は多数報告されている。陸上部における飛来塩分量を数値解析などで推測する為には、発生元である海岸における飛来塩分量を知る必要があり、飛来塩分の発生には海岸の風況（風向・風速）が大きく係わるものと推察される。

多くの場合、海岸の風況は、最寄りの気象庁の観測所の観測データで代用されることが予想される。しかし、必ずしも最寄りの気象庁の観測所の風況観測データが、海岸の風況を表すとは限らないと考えられる。

そこで、本研究では、海岸において独自に行っている Web 気象観測システムの風況データと周辺の気象庁観測所の風況データのいずれが、海岸における飛来塩分量と相関が高いか比較・検討する。また、任意海岸の風況を推定する手法として、複数ヶ所の気象庁観測所の観測データによる空間補間法（IDW）と、領域気象モデル（WRF）の適用を提案し、その有用性を検討する。

2. 飛来塩分量および風向・風速の測定について

2.1 飛来塩分量の測定場所と分析方法

飛来塩分の捕集は、沖縄県国頭村辺野喜の海岸にて長期間行った。飛来塩分の捕集には改良した土研式飛来塩分捕集器を用い、月に一度飛来塩分の回収・測定を行っている。図-1には、捕集器の設置場所と周辺の気象庁観測所の位置を示す。写真-1には、改良型土研式飛来塩分捕集器の外観を示す。なお飛来塩分量（塩化物イオン量）の測定には、塩化物イオン選択性電極による電位差滴定法を用いた。



図-1 捕集器と気象庁観測所位置 写真-1 塩分捕集器

2.2 Web 気象観測システムと気象庁の観測所について

辺野喜の飛来塩分捕集器の近くには、Web 気象観測システムを設置しており、辺野喜海岸における風況（風向・風速）の観測を独自に行っている（写真-2、写真-3 参照）。また、気象庁の観測所は、辺野喜周辺に位置している伊是名、奥、名護の3ヶ所を選定した（図-1 参照）。なお、使用した風況観測データは、2007年8月から2010年11月までの1時間毎の風向・風速データである。これは、辺野喜において Web 気象観測システムを設置した時期と対応している。

辺野喜海岸の周辺地形は、北側と西側が海に面している。西側では飛来塩分捕集器からその法線方向に約 40メートルで汀線となり、北側では約 170メートルで汀線となっている（写真-4、写真-6 参照）。しかし東側と南側は山に面しており（写真-5、写真-7 参照）海岸までの距離は東側で約 8.8 キロメートル、南側で約 18.8 キロメートルと西側、北側のそれぞれと比較しても非常に離れていると言える。そこで、今回は辺野喜海岸の北側と西側の風況と飛来塩分量についてのみ検討する。

*1 琉球大学大学院 理工学研究科環境建設工学専攻 (正会員)

*2 琉球大学大学院 理工学研究科環境建設工学専攻 (正会員)

*3 琉球大学 工学部環境建設工学科教授 博士(工学) (正会員)

*4 日本大学 生産工学部建築工学科教授 博士(工学) (正会員)



写真-2 システムの全景 写真-3 風向・風速計(拡大)



写真-4 辺野喜北

写真-5 辺野喜東



写真-6 辺野喜西

写真-7 辺野喜南

2.3 平均風速および積算風量の算定方法

各方位の風速は、捕集器が向いた法線方向の風速に換算した。なお、捕集器は東西南北の4方位に面している。風の対象方位は、捕集面の臨む方位を基準に±67.5(刻み幅±22.5°)以内の範囲とした(図-2参照)。この刻み幅は、気象庁が設定している16方位に対応させるためである。平均風速 V_a を式(1)に示す。

$$V_a = \frac{\sum_i^n V_i}{n} \quad (1)$$

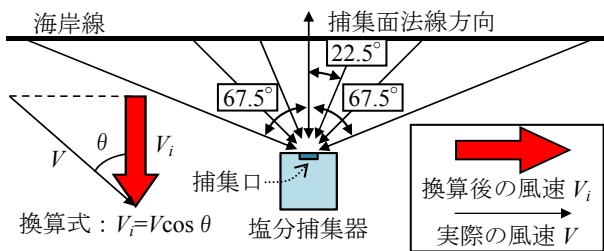


図-2 風の対象方位

ここで V_i は、図-2に示すように実際に吹いている風を捕集面に対して垂直方向に換算した風速である。この換算を各時刻に吹く風を対象として行っている。また、 n は観測期間中に対象方位から風が吹いた回数としている。

積算風量 V_s は、平均風速 V_a に n と 3600 秒 (1 時間)

を乗じたものであり、単位はメートル(m)である。

2.4 各観測地点の地表粗度区分と高さ補正

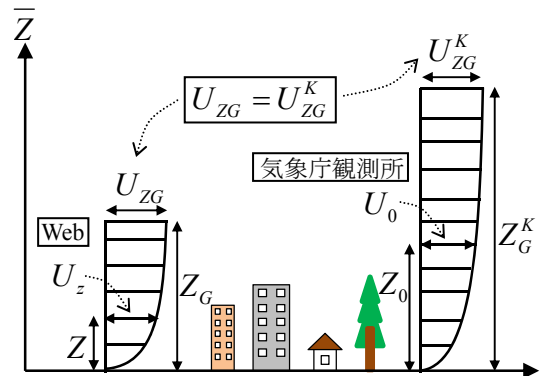
Web 気象観測システムと気象庁の観測所では、周辺地形や風向・風速計の設置高さが異なる。そのため、ベキ指数を用いて風速の補正を行った。補正方法は、日本建築学会建築物荷重指針¹⁾を参考にした。以下にその手順を示す。

まず、式(2)を用いて気象庁の各観測所の風速を地表粗度の影響を受けない上空風高度の風速に変換する。次に気象庁の観測所と Web 気象観測システムの上空風高度での風速は等しいという条件により、式(3)を用いて気象庁観測所の風速を Web 気象観測システムの風向・風速計の設置高さの風速に変換した。

図-3には、式(2)と式(3)において使用する変数と風速補正の概要図を示す。また、表-1には、計算に用いた各風況観測地点の係数 α と周辺地域の地表面の状況を示す。

$$U_{ZG}^K = U_0 \left(\frac{Z_G^K}{Z_0} \right)^\alpha \quad (2)$$

$$U_Z = U_{ZG} \left(\frac{Z}{Z_G} \right)^{\alpha'} \quad (3)$$



Z_0 : 観測所の計測器の設置高さ	U_0 : 観測所の風速
Z_G^K : 観測所の上空風高度	U_{ZG}^K : 観測所の上空風速
Z_G : Web の上空風高度	U_{ZG} : Web の上空風速
Z : Web の風向・風速計の設置高さ	U_Z : Web の風速

図-3 風速補正の概要図

表-1 ベキ指数に用いた係数 α と地表面の状況

	辺野喜	伊是名	奥	名護
設置高さ	2m	10m	6.5m	25.5m
上空風高度	250m	350m	450m	450m
係数 α	0.10	0.15	0.20	0.20
地表面の状況	障害物が殆ど無い平坦地	草原などの障害物がある平坦地	樹木・低層建物が密集する地域	4~9階建てが散在する地域

3. 測定結果と考察

図-4には、Web 気象観測システムの飛来塩分量と平均風速および積算風量との関係を示す。飛来塩分量と平均風速および積算風量との関係には図中に示す2次関数による近似関係がみられた。

図-4より、飛来塩分量と平均風速および積算風量との関係を比較すると、積算風量の方が高い相関がみられた。このことより、飛来塩分量の評価には風の吹いた時間も重要であるとわかる。また、汀線に近い西側の方が北側に比べ高い相関がみられた。

図-5には、飛来塩分量と伊是名、奥、名護の気象庁の各観測所による平均風速との関係を示し、図-6には、積算風量との関係を示す。

図-5および図-6の結果より、各地点とも北側の方が飛来塩分量と風況との相関が高く、図-4に示すWeb 気象観測システムによる結果とは異なっている。

この理由として、海岸から離れた位置にある気象庁の各観測所では辺野喜海岸の西側風況をうまく表せないためと考えられる。

気象庁のいずれの観測所よりも、海岸に設置したWeb 気象観測システムの風況データの方が、飛来塩分量との高い相関がみられる。今回の結果では、風況（風向・風速）の観測は、飛来塩分捕集器を設置した現地で行うことが望ましいということが明らかとなった。

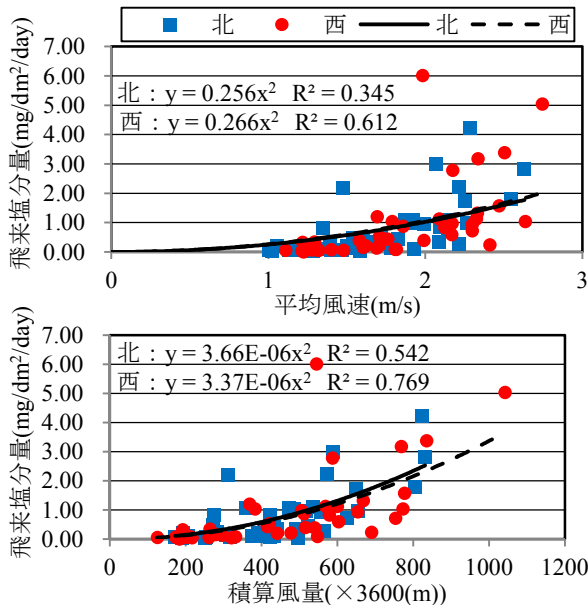


図-4 飛来塩分量と平均風速および積算風量

4. 空間補間法 (IDW) および領域気象モデル (WRF) を用いた風況の推定

3章の結果より、海岸における風況を知ることが重要であることが分かった。しかし、一般に海岸で風況を観測している例は少ない。そこで、任意海岸の風況を推定

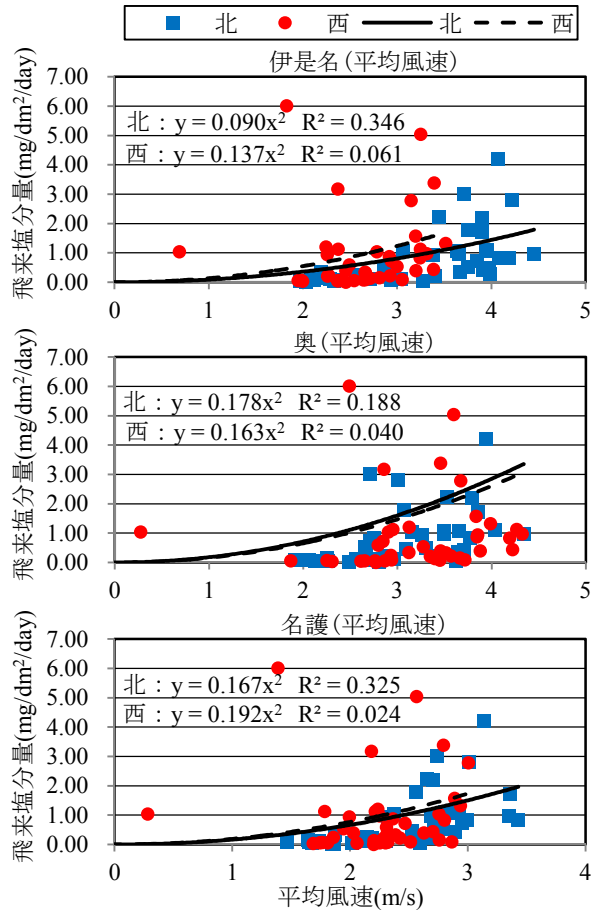


図-5 各気象庁観測所の飛来塩分量と平均風速の相関

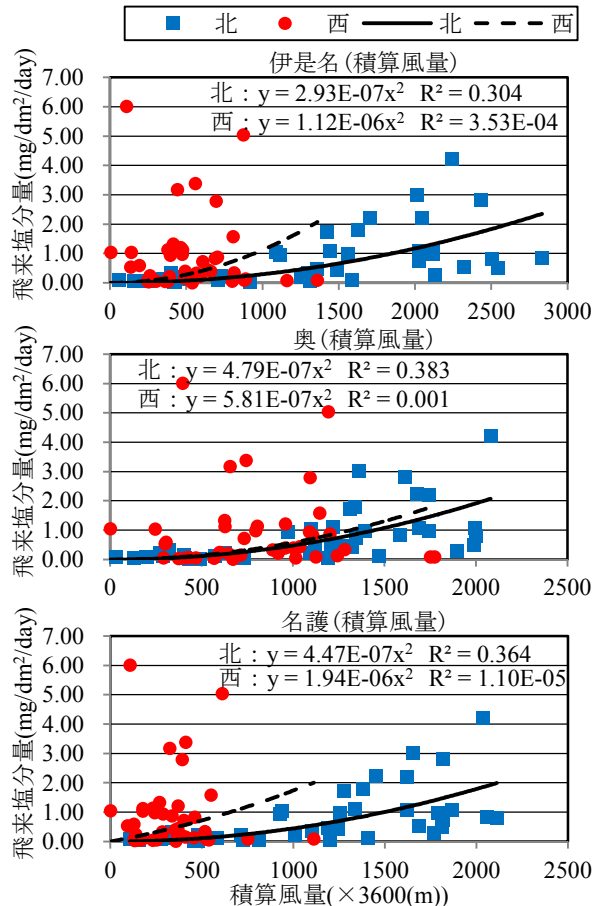


図-6 各気象庁観測所の飛来塩分量と積算風量の相関

するため、空間補間法 (IDW) および領域気象モデル (WRF) の適用を提案・検討する。なお、WRF の結果については計算コストの都合上、2007 年度～2009 年度の冬場 (12 月, 1 月, 2 月) の 3 シーズンのみとした。

4.1 空間補間法 (IDW) の概要

本研究で用いた空間補間法 Inverse Distance Weighted (IDW) は、複数の気象庁観測所の風向・風速データに距離による重みをつけ、任意地点の風況を推定する方法である²⁾。式(5)は、任意地点 s の予測値 $u(s)$ を示す。式(6)は、任意地点 s における重み $w_i(s)$ を示す。

ここで、 u_i は各気象庁観測所の風向・風速を表す。 $d(s, s_i)$ は任意地点 s から実測地点 s_i までの距離である。表-2 には、伊是名、奥、名護の各気象庁観測所と辺野喜までの距離を示す。

$$u(s) = \frac{\sum_{i=0}^n w_i(s) u_i}{\sum_{i=0}^n w_i(s)} \quad (5)$$

$$w_i(s) = \frac{1}{d(s, s_i)} \quad (6)$$

表-2 辺野喜と各気象観測所の距離

観測地名	辺野喜との距離(km)
伊是名	36.510
奥	5.917
名護	37.443

4.2 領域気象モデル (WRF) の概要

今回用いた領域気象モデルは、Weather Research and Forecasting (WRF) である。WRF とその関連プログラムは全てフリーである。WRF に使用される基礎方程式、数値計算スキーム、物理モデル、計算の流れおよび関連ソフトウェアについては、公式のホームページ³⁾に詳しい説明があり、ここでは割愛する。本研究では、辺野喜周辺を解析領域に 4 段階ネスティングを行い、WRF による風況推定を行った。

表-3 に解析に用いた主な計算条件を示す。また、図-7 には、4 段階のネスティングの領域と計算に用いた Domain4 の領域を示す。

5. IDW および WRF の推定結果

5.1 風況の推定結果

海岸における Web 気象観測システムの風況実測データと IDW および WRF による風況の推定結果を比較する。ここでは、風向・風速を北-南方向と東-西方向に成分分けした。

表-3 主な計算条件

	計算条件
初期・境界条件	GFS-FNL
標高・土地利用	GTOPO(30秒メッシュ)
地図投影法	メルカトル法
ネスト数	4
グリッド数(東西)	31, 34, 37, 47
鉛直層数	28
グリッド間隔(km)	30.0, 10.0, 3.3, 1.1
時間間隔(秒)	180

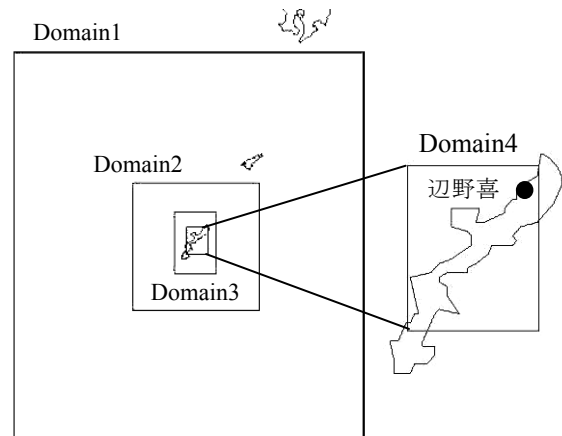


図-7 ネスティングの領域

図-8 に一例として 2007 年 12 月と 2008 年 1 月の推定状況を示す。なお、図の縦軸の正值は、北と東の風速成分を表し、負値は、南と西の風速成分を表す。

海岸における Web 気象観測システムの実測データと IDW および WRF による風況の推定結果は概ね相関があるようであるが、例えば図-8 に示す 2008 年 1 月の東-西方向の風況については、Web 気象観測システムの実測データと IDW および WRF による推定結果に乖離がみられるなど、期間と方位によっては異なる傾向も認められた。また、図-8 のデータを用いて辺野喜の実測結果に対して IDW および WRF の推定結果で残差の 2 乗和の検討を行ったところ、WRF に比べ IDW のほうが、若干ではあるが実測結果と乖離が少ないことが分かった。

5.2 飛来塩分量と推定した積算風量との関係

IDW と WRF によって推定した辺野喜海岸の風況を基に積算風量を求め、飛来塩分量との関係を図-9 に示す。ここでは、Web 気象観測システムによる積算風量と飛来塩分量の関係および、辺野喜海岸に最も近い気象庁の観測所である奥観測所による積算風量と飛来塩分量の関係も併せて示している。

図-9 で使用したデータは WRF の計算範囲に合わせたため、2007 年度から 2009 年度の 3 年間の冬場 (12 月, 1 月, 2 月) におけるものでありトータル 9 ヶ月分である。

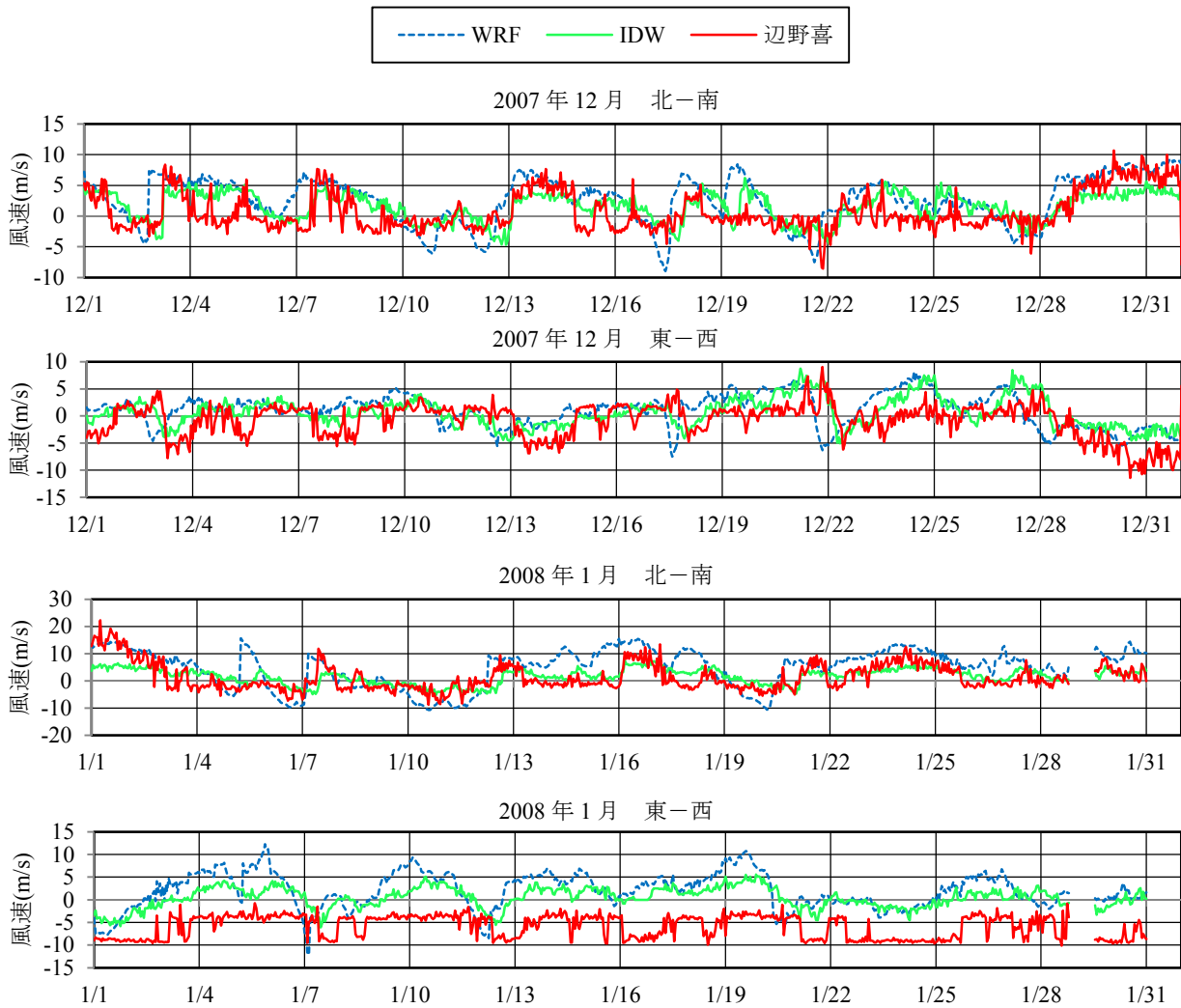


図-8 IDW および WRF の風況の推定 (2007年12月および2008年1月)

図-9より、北側と西側のいずれにおいても Web 気象観測システムによる積算風量と飛来塩分量の相関が高く、IDW と WRF および奥観測所による積算風量と飛来塩分量の相関は低かった。

また、北側については、Web 気象観測システムの積算風量に比べ、IDW と WRF および奥観測所による積算風量が大きい値となった。この原因についてデータを精査したところ、Web 気象観測システムでは北側風の頻度が少なく、IDW と WRF および奥観測所によるデータでは北側風の頻度が多いことが判明した。

以上の結果より、最寄りの気象庁の風況観測結果や、提案する IDW と WRF による風況推定結果は、必ずしも海岸現地の風況を精度よく表せるものではなく、海岸での飛来塩分量の相関も低くなる事が分かる。

風況を精度よく推定するための今後の検討課題として、IDW においては、距離による重み付けのみならず、Web 気象観測システムを設置した海岸付近の周辺地形特性と各気象庁観測所における周辺地形特性の違いなど、他の因子も取り込めるような推定方法に拡張する必要がある

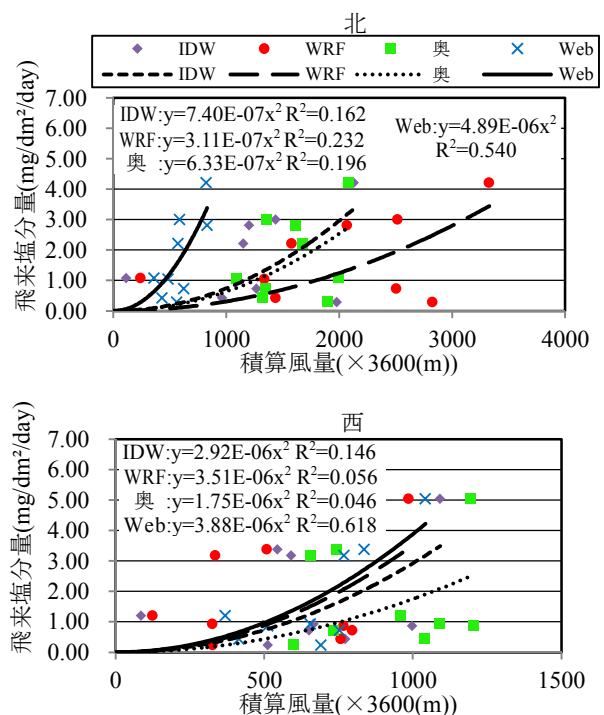


図-9 飛来塩分量と積算風量との関係

と考える。また、WRFにおいては、より詳細な計算領域の設定等が必要と考える。

6. まとめ

- 1) 飛来塩分量と平均風速および積算風量の関係を比較すると、積算風量の方が高い相関がみられた。このことより、飛来塩分量の評価を行うためには風の吹いた時間も重要である。
- 2) 最寄りの気象庁の観測所よりも、海岸に設置したWeb気象観測システムの風況データの方が、飛来塩分量との高い相関がみられる。今回の結果では、風況(風向・風速)の観測は、飛来塩分捕集器を設置した現地で行うことが望ましいということが明らかとなった。
- 3) 任意海岸の風況(風向・風速)の推定方法として、空間補間法(IDW)と領域気象モデル(WRF)を提案したが、今回の風況のデータ範囲では、いずれも

飛来塩分量との相関を表すには十分の結果とは言い難い。

謝辞：本研究の一部は、平成20・21・22年度科学研究補助金(基盤研究(C):課題番号20560529と21560599)の助成を受けた。記して感謝の意を表す。また、WRFのインストールと使用に当たっては、琉球大学工学部の富山潤准教授にご指導頂いた。ここに感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 日本建築学会:建築物荷重指針・同解説 pp.258-263, 2004
- 2) 谷村晋:Rで学ぶデータサイエンス7 地理空間データ分析, 共立出版, pp.55-58, 2010
- 3) WRF 公式ホームページ (Weather Research & Forecasting Model) : www.wrf-model.org/