

凍結防止剤の飛散による近接農地における塩化物イオン濃度の簡易推定手法

Simple Method for Estimating Chloride Ion Concentration in the Farmland where De-icing Agent was Scattered

佐々木薫 Kaoru SASAKI (西日本高速道路エンジニアリング中国 (株))
秦 二郎 Jiro HADA (西日本高速道路エンジニアリング中国 (株))
諸泉利嗣 Toshitsugu MOROIZUMI (岡山大学大学院環境生命科学研究科)

本研究では、凍結防止剤散布量と降水量から農地土壌中の塩化物イオン濃度を簡単に評価するための簡易推定手法を提案した。本手法によって計算された推定値を農地土壌中の塩化物イオン濃度の調査結果と比較することにより、その推定精度を検証した。その結果、本研究で示した簡易推定手法によって農地における塩化物イオン濃度が精度よく推定できることがわかった。さらに、本推定結果より、凍結防止剤散布期間中における塩化物イオン濃度の最大値が農作物の生育に影響を及ぼす閾値よりも小さいことが明らかとなった。

キーワード：地下浸透，農地土壌，リーチング

(IGC : E-7, C-6)

1. はじめに

冬季の高速道路では、路面の凍結を防止するために安全対策として凍結防止剤が散布される。散布された凍結防止剤は車両の通行による水しぶきなどで道路沿線に飛散する。

凍結防止剤が沿道の農地へ飛散した場合は、塩害などによる農作物への影響が懸念されるため、凍結防止剤は、どのように農地へ飛散し、土壌へ浸透し、農作物へどのような影響を与えるかを明らかにする必要がある。また、凍結防止剤は、日々の散布量が異なり、飛散する量も一定でなく、降水量も日々変化する中で、凍結防止剤が土壌へ浸透し降雨により希釈され地下へ浸透し土壌中の塩化物イオン濃度は日々変化をするため日々の変動を評価することは非常に重要である。

本研究では、凍結防止剤散布量と降水量から農地土壌中の塩化物イオン濃度を簡単に評価するための簡易推定手法を提案するとともに、本手法によって計算された推定値を農地土壌中の塩化物イオン濃度の調査結果と比較することにより、その推定精度を検証した。

2. 農地の塩分調査

本研究では、提案する簡易推定手法の妥当性を検証するために、高速道路沿線の農地で測定された塩化物イオン濃度の実測値を用いている。本章では、塩化物イオン濃度の実測値を求めるために実施した調査手法と調査結果の概要について述べる。

2.1 調査手法の概要

土壌塩分調査の対象地(写真-1)は、高速道路に最も近接し高低差の少ない畑地を選定した。調査箇所(写真-1, 図-1)は、雑種地 A 断面と畑地 B, C 断面の合計 3 断面であった。本線路肩端からの離隔距離 1.5m (A・B・C-1), 5.0m (A・B・C-2), 10.0m (A・B・C-3) の位置で調査を行った。調査深度は、畑の耕土範囲の 40cm として、特に発芽育成に重要な表土 10cm 範囲を 2 層 5cm 単位とし、表土以下 10~40cm の深度については 10cm 単位で、土壌採取器等を使用して採取した。

調査頻度は、凍結防止剤を散布する前の 2012 年 11 月初旬、凍結防止剤散布期間の 2013 年 1 月中旬と 3 月中旬、散布後の 4 月中旬の 4 回とした。

土壌調査項目は、塩化物イオン濃度は、地盤工学会基準 JGS0241-2000¹⁾により分析を行った。

調査期間中の 2012 年 11 月~2013 年 4 月における調査箇所での凍結防止剤の散布量と降水量についても調査した。降水量は、調査箇所近傍の約 10km 離れた NEXCO 気象観測局のデータを使用した。日散布量と降水量の測定結果を図-2, 図-3 にそれぞれ示す。

2.2 土壌塩化物イオン濃度調査結果

2.2.1 土壌の塩化物イオン濃度の調査結果

土壌中の塩化物のイオン濃度の調査結果³⁾を図-4 に示す。路肩から 5m, 10m の位置については雪氷期前と雪氷期においては、塩化物イオン濃度は 0~30mg/kg (土壌の乾燥質量当り) の値であり、大きな変化はなかった。B 断面の畦部の路肩から 1.5m の位置においては、1 月に深度 0~5cm で本調査での最大値である 90mg/kg の値で、深度 5~10cm で 70 mg/kg と比較的大きな値であった。深度 10~

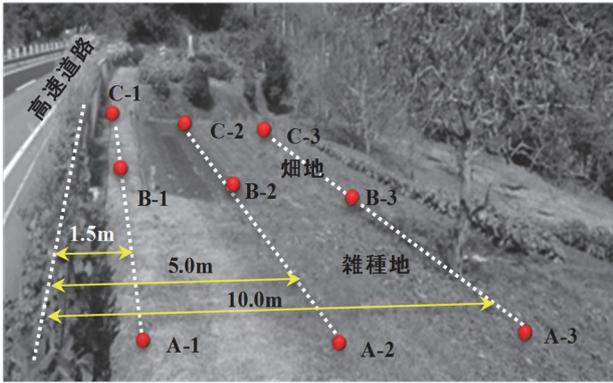


写真-1 農地土壤の飛散塩分の調査箇所³⁾

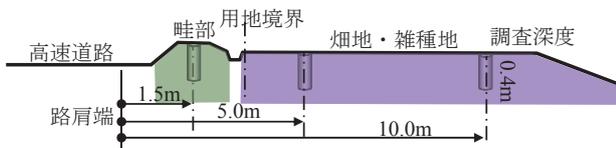


図-1 農地土壤の飛散塩分の調査概略断面図³⁾

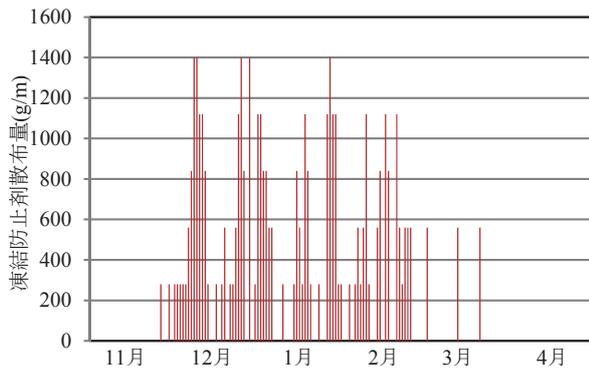


図-2 日別の凍結防止剤散布量

40cmでは20 mg/kg と比較的低い値であった。C-1(畦部)にあってもB-1(畦部)と同様に表層部は比較的高い値であった。A-1(畦部)は、1月には変化なく、3月に表層部で60 mg/kgの最大値であった。A-1(畦部)は、高速道路との高低差が、B-1(畦部)とC-1(畦部)と比べ約50cm高い所に位置していることから、凍結防止剤が高い位置へ飛散しにくかったことが原因と考えられる。また、3月の調査時においては風向風速等気象条件によって高い位置へ飛散する等が原因と考えられる。

図-5 は、図-4 の塩化物イオン濃度から調査期間ごとに高速道路からの離隔距離と土壤の深度による塩化物イオン濃度を断面分布で表したものである。ただし、各調査日毎の土中の塩化物イオン濃度は、A, B, C 断面の各調査深度毎から最大の値を用いた。凍結防止剤の散布前11月は比較的低濃度であったが、凍結防止剤散布時期1月には表土0~5cmの位置で90 mg/kgの塩化物イオン濃度が検出され、その後3月、4月にかけて徐々に地下へリーチングにより浸透しているものと考えられる。

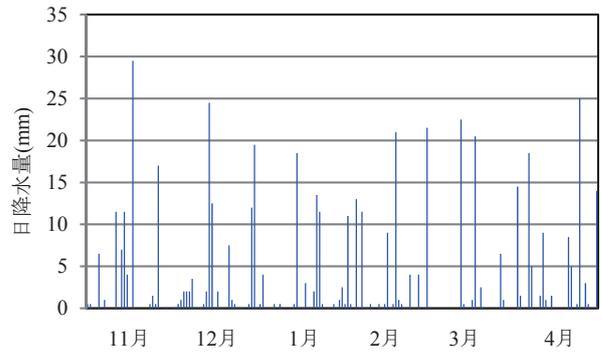


図-3 日別の降水量

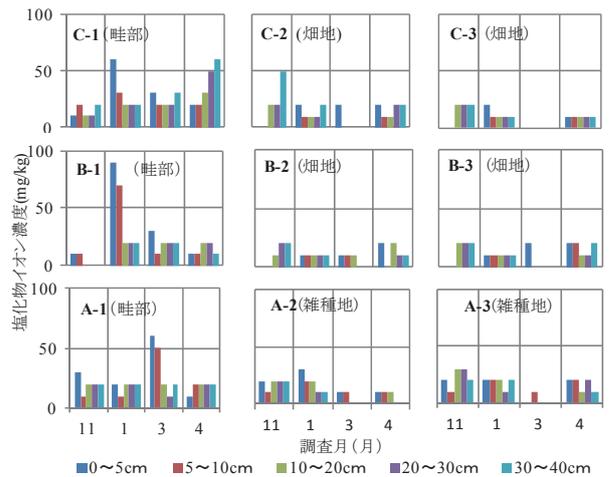


図-4 土壤中の塩化物イオン濃度の変化³⁾

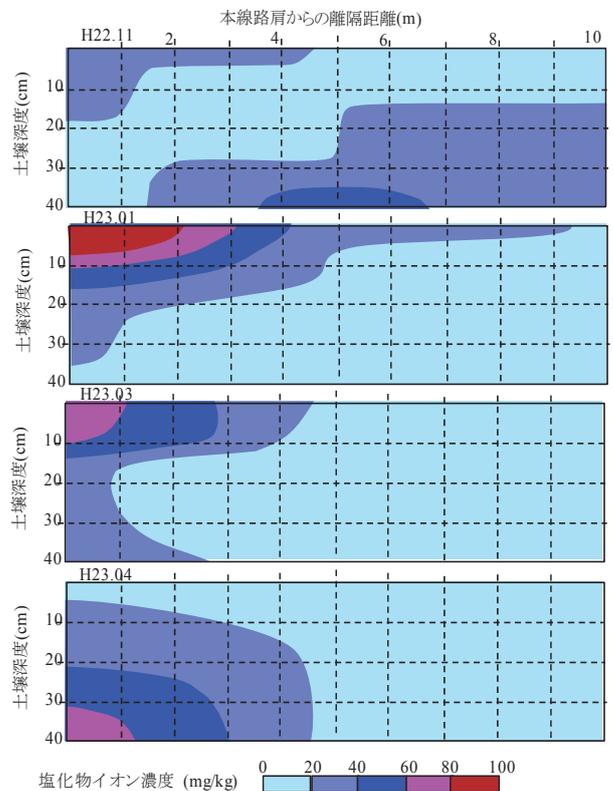


図-5 土壤中の塩化物イオン濃度の分布

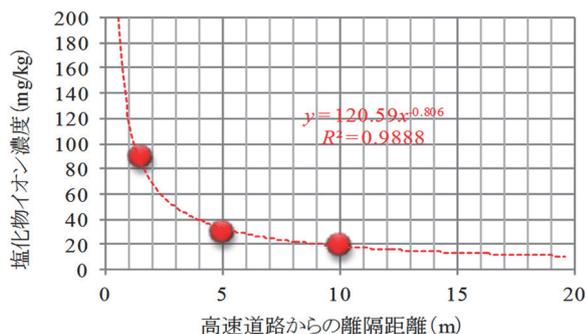


図-6 道路との離隔距離と塩化物イオン濃度の関係

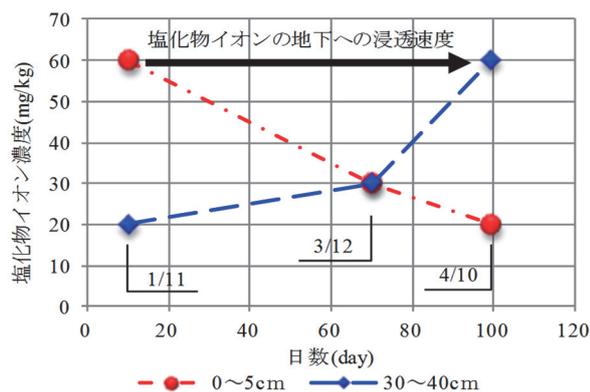


図-7 土壌深度別の塩化物イオン濃度の変化

2.2.2 塩化物イオンの農地への飛散

雪氷期の高速道路路肩端からの各離隔距離と農地土壌の深度 0~5cm の最大イオン濃度の関係を図-6 に示す。この関係は次式で表せる。

$$Y=120.59X^{-0.806} \quad (1)$$

ただし、 Y は、各離隔距離の最大の塩化物イオン濃度、 X は、本線からの離隔距離を表す。

畑地土壌の塩化物イオン濃度は、本線から離れるに従って-0.806 のべき乗で減衰していく。ほとんどの高速道路用地は、道路の路肩から保護路肩や環境施設帯として 3m 以上確保されており、この 3m の位置の濃度は、式 (1) より約 50 mg/kg となり、畑作へ影響を与える濃度 400 mg/kg の 12.5% 程度と低い濃度となる。この濃度は、降水等により土壌地下へ浸透するリーチング作用により、さらに希釈され低濃度となり、春から秋にかけての農繁期にはほとんど影響を与えることが無い濃度となるものと考えられる。

2.2.3 塩化物イオンのリーチング速度の推定

図-7 は、調査箇所の中で比較的濃度が高かった畦部 (C-1) における土壌深度別の塩化物イオン濃度の日変化を表したものである。土壌表層部 (0~5cm) は、1月 11日 60 mg/kg を示し、下層部 (30~40cm) は 4月 10日に 60 mg/kg を示していることより、約 11cm/月 (32.5cm/89日 * 30日/月) の速度で地下へ浸透していると推測される。

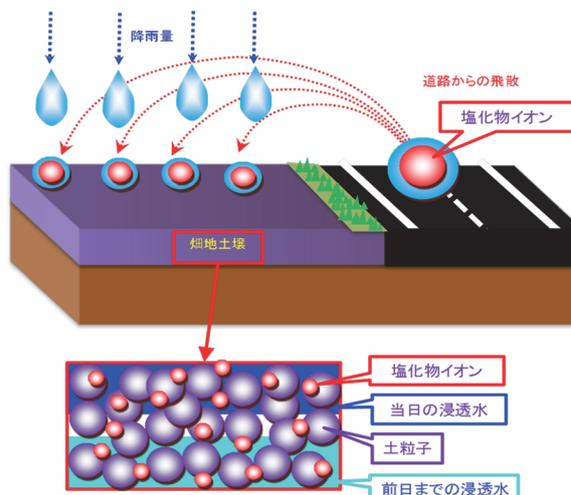


図-8 飛散塩化物イオンの土壌浸透イメージ図

3. 塩化物イオン飛散浸透の簡易推定手法

3.1 簡易推定手法の考え方と算定方法

土壌の塩化物イオン濃度の簡易な推定手法の考え方は、図-8 に示す飛散塩化物イオンの土壌浸透イメージにより推定する。高速道路で散布された凍結防止剤 (塩化物イオン) が、交通車両などにより隣接する畑地の土壌へ飛散し降水と混ざって土壌中へ浸透する。土壌へ浸透した塩化物イオンは、土壌や地下水と混ざって地下へ浸透していく。このとき土壌中では、既存の塩化物イオンに飛散した新たな塩化物イオンが混ざり一定の濃度になると仮定する。そのとき、一定深さの土壌中の水量に含まれる塩化物イオン量を一定深さの土壌乾燥重量で除すれば単位重量当りの塩化物イオン濃度が求められる。

以上の考え方から簡易推定手法の計算方法は、以下により算定する。対象とする農地の土壌面 1m^2 に、土壌深さ 0.05m を乗じた対象土壌容積 0.05 m^3 当たりの塩化物イオン量 $C(\text{mg})$ は、

$$C=(C_1+C_2)\cdot(W_1+W_2-W_3)/(W_1+W_2) \quad (2)$$

となる。ただし、 C_1 は対象土壌容積内に含まれる塩化物イオン量 (mg)、 C_2 は対象土壌面に飛散した塩化物イオン量 (mg)、 W_1 は対象土壌容積内に含まれる水量 (mg)、 W_2 は対象土壌面に浸透する降水水量 (mg)、 W_3 は対象土壌容積内から下層へ流下する水量や蒸発水量 (mg) とし、その概念図を図-9 に示す。なお、対象土壌の塩化物イオン濃度は、対象土壌容積内の土粒子の乾燥重量 (D) 当たりに対する濃度で表わす。

3.2 簡易推定手法の計算方法に用いる諸定数

土壌中の塩化物イオン濃度の簡易推定手法による算定にあたっては、畑地の土壌調査結果、最も高い値 (90mg/kg) であった路肩から 1.5m の表層部 0~5cm について雪氷期

間の土壌の塩化物イオン濃度の推移を算定するものとする。推定対象となる農地の土壌の土質の諸元については、土壌の調査時に得た値とそれを元に推計した値を用いるものとして、簡易な推定に使用する値を表-1に示す。

凍結防止剤の散布量は、図-2に示す調査期間2012年11月～2013年4月における当地区での凍結防止剤の散布量を用い簡易推定を行った。なお、凍結防止剤の散布は、風などで飛散しないよう湿塩状態で散布されるため、路外への飛散は水しぶきとなって飛散するものとする。このしぶきの濃度は、凍結防止剤の塩化ナトリウムの飽和限界濃度が重量比率で23.3%であることより、23.3%濃度となる水量(mg)は、飛散する塩化物イオン量(mg)の3.077倍となるので、これを降雨量 W_2 に加算するものとする。

また、凍結防止剤に含まれる塩化物イオン量は、凍結防止剤の塩化ナトリウムの純度(95%)に塩化ナトリウムにおける塩化物イオンのmol比 $35.45/(35.45+22.99)=0.607$ を乗じて算出した。

また、路肩1.5mに飛散する凍結防止剤は、片側2車線道路の凍結防止剤の飛散量と路肩への飛散量²⁾より、図-10に示す道路路肩端1.5mの凍結防止剤の飛散率を求めた。当地区の1シーズン当りの凍結防止剤の散布量は、図-2から道路片側の散布量が21.98(kg/m)であることより図-10より飛散率0.21%を算出した。凍結防止剤の散布量にこの飛散率を乗じた値が飛散するものとして推計した。

降水量(W_2)は、図-3に示した量を与えた。

表土5cmに留まる水分は最大23.85ℓ/m²(飽和水量)として、飽和状態になった場合、減水深を超える降水量は表流水となって土壌へは浸透しないものとし、減水深は、表-2より透水係数 10^{-6} m/secの場合の減水深⁴⁾86.4mm/dayとする。ただし、土壌へ飛散した塩化物イオンはすべて土壌へ浸透するものとした。

表土5cmの層より下方へ流下する水分(W_3)は $(W_1+W_2-$ 自然含水比($We=17.00ℓ/m^2$))/2と仮定した。これは、土壌中が絶えず飽和状態にある場合は、減水深が土砂の場合8.6cm/日程度であり1日に約86.4mmの水量が通過することとなるが、冬期は降水量が少なく、不飽和の状態での地下への浸透となるため、推定計算の便宜上自然含水比を上回る水量の1/2が空隙中に残存し、残りの1/2が5cm以下の下流へ流出するものと仮定した。

降水が積雪の場合、土壌へ浸透する水分は融雪を考慮し5日間で均等に土壌へ浸透するものと仮定した。これは、当地区の積雪深が5cm以上あった場合、3～7日で融解することより便宜上平均値の5日間で仮定した。

蒸発散量はHamon式で算出される蒸発能 e に小葉竹が示した補正係数0.636を乗じて推計した⁵⁾。その推計結果を表-3に示す。推定に使用する蒸発散量は、12月から3月の平均値の約0.41mm/dayとし、土壌深さ5cm以下への流下土中水分量(W_3)に加算した。なお、土壌塩化物イオン濃度の初期値は、凍結防止剤散布前後の塩化物イオン濃度20～30 mg/kgの平均値である25 mg/kgとした。

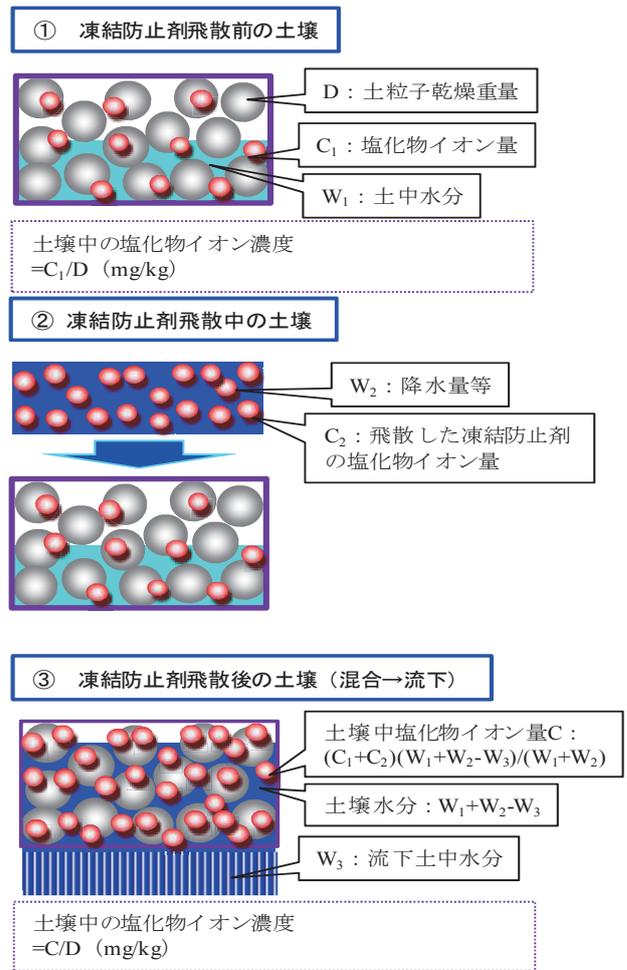


図-9 飛散塩化物イオンの土壌浸透図

表-1 土壌土質の諸元 (1m³当たり)

	体積 (m ³)	重量 (kg)	比重	備考
空気	0.137	0	0.0	自然含水比 25% 透水係数 10 ⁻⁶ m/s
水	0.340	340	1.0	
土	0.523	1,360	2.6	
合計	1.000	1,700	-	

表-2 透水係数と減水深 (三好⁴⁾)

透水係数 (m/s)	減水深 (mm/day)
1×10 ⁻⁹	0.1
1×10 ⁻⁸	0.9
1×10 ⁻⁷	8.6
1×10 ⁻⁶	86.4

表-3 蒸発量の推計

月	降水量	蒸発散量	
	(mm)	(mm) (%)	(mm/day)
12月	73.5	10.8(14.7)	0.35
1月	58.5	9.7(16.5)	0.31
2月	99	10.4(10.5)	0.37
3月	127	18.3(14.4)	0.59
合計	358	49.2(13.7)	0.41

凍結防止剤の飛散による近接農地における塩化物イオン濃度の簡易推定手法

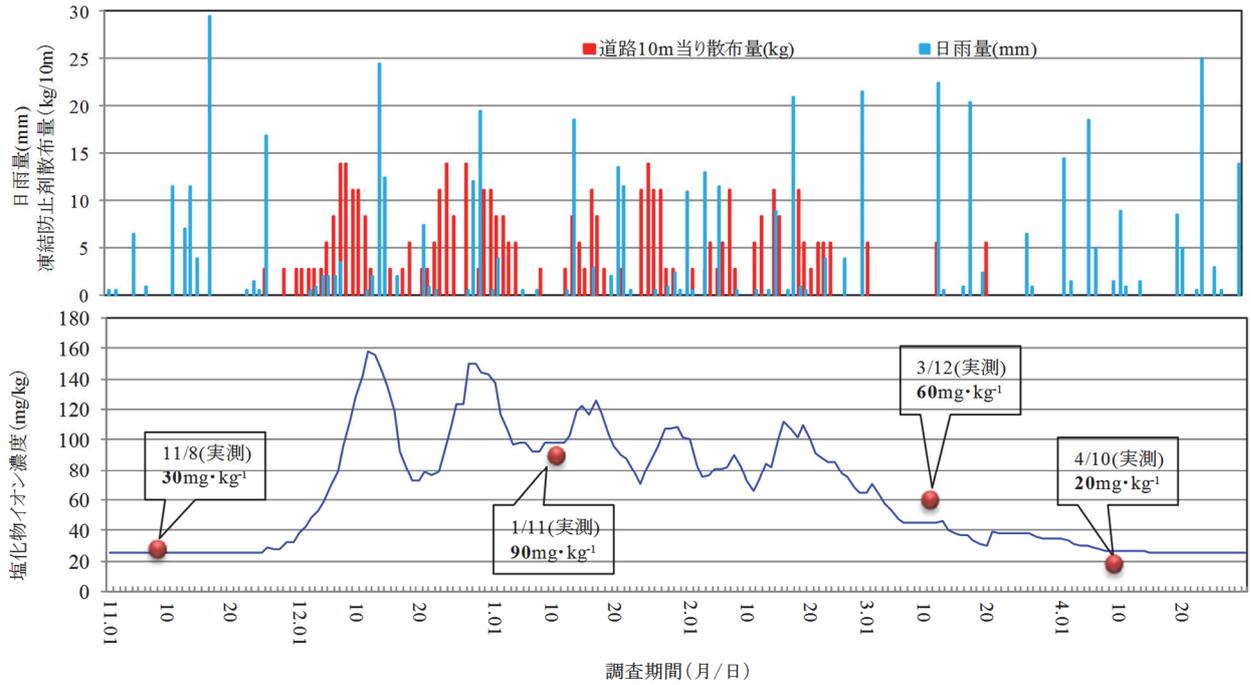


図-11 簡易手法によって推定した土壌塩化物イオン濃度の経時変化

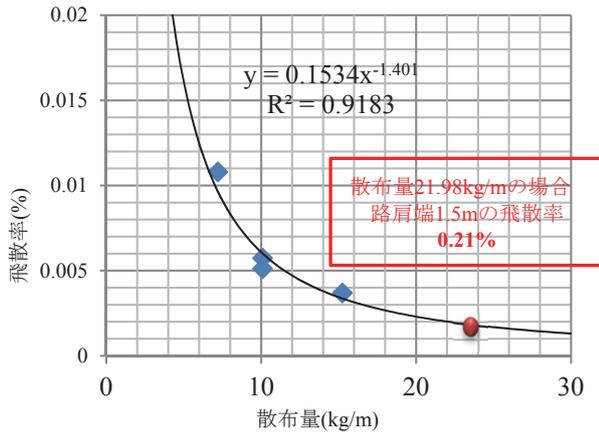


図-10 散布量と路肩端 1.5m の飛散比率の関係

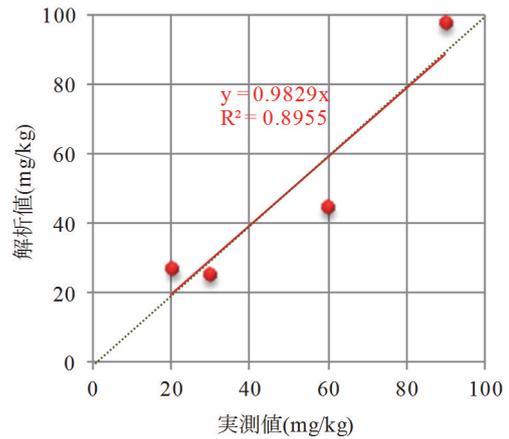


図-12 土壌塩化物イオン濃度の実測値と推定値の比較

4. 簡易推定結果

上記の簡易推定手法によって推定された塩化物イオン濃度の経時変化を図-11に、推定値と実測値の関係を図-12にそれぞれ示す。図-12に示すとおり、推定値と実測値の実線で示す関係式の傾きは 0.983 となり、破線で示す 1:1 直線の傾きである 1 とほぼ等しくなった。このことから、本研究で提案した簡易推定手法によって塩化物イオン濃度が精度よく推定できたことがわかる。

図-11 より、12 月 12 日に土壌の塩化物イオン濃度は凍結防止剤散布期間中の最高濃度である 158mg/kg と推定されたが、この推定値は畑地の閾値となる 400 mg/kg⁶⁾の濃度を下回っており、また、畦部（高速道路用地内）であることより畑の土壌環境への影響は極めて少ないものと考えられる。

また、リーチング速度については、凍結防止剤を最後に散布した 3 月 21 日より 14 日後に 30 mg/kg 以下の値に減少したことより、表土 5cm におけるリーチング速度は 10.7cm/月と推計され、2.2.2 で述べたように調査データをもとに推定した 11cm/月と同程度の値になった。このことから本簡易推定手法の妥当性がわかる。

6. おわりに

冬季の高速道路では路面の凍結を防止するために凍結防止剤が散布されるが、凍結防止剤は車両の通行等によって道路沿線の農地に飛散する。本研究では、この飛散した凍結防止剤中に含まれる塩化物イオンの農地土壌中での濃度を、凍結防止剤の散布量と降水量から簡単に推定可能

な簡易推定手法を提案した。その結果、本手法による塩化物イオン濃度の推定値は現地調査によって求めた実測値とよく一致した。また、凍結防止剤散布期間中の推定値の最大値は 158mg/kg であったが、この値は畑地の閾値となる 400 mg/kg の濃度を下回っていることから、凍結防止剤に含まれる塩化物イオンが農作物に与える影響は極めて少ないことが明らかとなった。

なお、この実測値は、高速道路用地内に位置する畦部の値であり、畑地では、さらに低下するものである。また、この値は、凍結防止剤を散布する期間の値であり、非散布期となる春から秋にかけての農繁期においては、塩化物を含まない降雨により畑地土壌中の塩化物イオン濃度は、リーチング作用により、さらに希釈され低濃度となることから畑への影響は極めて少ないものとなり、凍結防止剤散布による道路外への飛散は、道路沿線での農地土壌への影響はないものと明確に推察できる。

謝辞

本論文は凍結防止剤を散布する高速道路沿線地域の農作地環境への影響に関する研究であり、共同研究者各位より有益なる助言をいただきました。また、成果をまとめるにあたっては、岡山大学大学院環境生命科学研究科西垣誠教授、同大学院同研究科赤江剛夫教授からご指導をいただきました。資料提供や現地調査にあたっては、西日本高速

道路株式会社の社員の方々に大変お世話になりました。ここに記して感謝の意を表します。

引用文献

- 1) 地盤工学会（編）：土質試験の方法と解説（第一回改訂版），丸善，pp.172-184，2006.
- 2) 秦二郎，佐々木薫，諸泉利嗣：凍結防止剤の地下浸透量，河川流出量及び飛散量の定量化，地盤工学ジャーナル，Vol.10，pp.461-471，2015.
- 3) 佐々木薫，秦二郎，諸泉利嗣：道路の凍結防止剤による農地土壌への影響に関する調査研究，第70回農業農村工学会中国四国支部講演会公演要旨集，pp.75-77，2015.
- 4) 青森県，健康な土づくり技術マニュアル，p16，2008.
- 5) 小葉竹重機：簡易式による蒸発散量の推定，京都大学防災研究所年報，32B-2，pp.309-317，2007.
- 6) 木村恵子，曾根真理，並河良治，桑原政明，角湯克典：凍結防止剤散布と沿道環境，国土技術総合研究所資料，国土交通省国土技術政策総合研究所，412，pp.42-52，2007.

(2016年6月20日 受付)