

近赤外分光法による水田土中の可給態窒素の推定

土壌圏システム学研究室 519352 東映里

(指導教員:渡辺晋生)

はじめに 持続的な作物生産には土中の可給態窒素や水分量等の物理化学性の把握が重要である。しかし、土のこれらの物理化学性には、測定が難しかったり時間を要したりするものも多く、農業のスマート化や省力化の推進には測定の簡素化や迅速化が求められる。ところで、近年近赤外分光法が食品分野で糖度や酸度等の品質評価に実用化されている。これは測定対象に近赤外線を照射し、吸光スペクトルに基づき成分や品質を迅速かつ非破壊で定量する方法である。しかし土壌の分野では全炭素(TC)、全窒素(TN)、陽イオン交換容量(CEC)等の定量の可能性が示唆されているものの、可給態窒素(AvN)については、推定精度の高い定量結果がほとんど示されていない。そこで本研究では、三重県内の水田土を対象に近赤外分光法による可給態窒素の推定を試みた。

試料と方法 伊賀市霧生、森寺、津市榊原、高野尾、安濃、雲出の水田 6 圃場において、2022 年の代掻き前に、それぞれ無作為に 5 地点以上から作土を採取、混合し試料とした。また津市大里では、水田 5 圃場から 2021 年 9 月に各圃場から 12 点、水田 2 圃場から代掻き前に 42 点の作土を採取し、試料とした。風乾した試料の 2 mm 篩通過分を用い、可給態窒素とアンモニア態窒素(NH₄-N)、硝酸態窒素(NO₃-N)を日本土壌協会で、pH、CEC、交換性の Ca、Mg、K、有効態の P と Si を十勝農業協同組合連合会および JA 三重で測定した。また、TN と TC、CN 比を元素分析機 vario EL cube (Elementar)で、400~2500 nm の近赤外スペクトルを 0.5 nm 刻みで近赤外分析計 NIRS DS2500/F (FOSS)で測定した。森寺、安濃、高野尾の近赤外スペクトルについては様々な含水率の試料でも測定した。そして、近赤外スペクトルと土の可給態窒素および各物理化学性の関係を単線形回帰分析、重線形回帰分析、主成分回帰分析で解析した。ここでは主として最も相関が高かった主成分回帰分析について示す。なお、主成分回帰分析は scikit-learn 機械学習ライブラリを用いて、Python 3で行った。また、検量式の評価には平均平方二乗誤差(RMSE)を用いた。主成分回帰分析は 2 つの方針で行った。1 つは大里の 102 試料のうち、81 試料を検量式を作成するデータ(cal)に、21 試料を検量式を評価するデータ(val)に用い、作成した検量式で他地区 6 圃場のデータの推定(est)を試みた(Case 1)。もう 1 つは大里の 7 圃場から 1 点ずつと他地区 6 圃場の計 13 試料を検量式作成データ(cal)とし、大里の残り 95 試料のデータ(est)の推定を試みた(Case 2)。

結果と考察 図 1 に、含水率 0.73 および風乾の安濃と風乾の大里の試料の近赤外スペクトルを示す。

風乾土の吸光度 A は 400~1800 nm にかけて徐々に低下した後漸増した。また途中に小さなピークが幾つか見られた。これは土の一般的な近赤外スペクトルと一致した。水分量が高い試料ほど近赤外スペクトルが大きくなった。また、1400 nm 付近は、水分子の対称伸縮振動と回転振動の倍音、1900 nm 付近は非対称伸縮振動と回転振動の倍音の波長帯であり、1900 nm 吸光度 A と含水率 θ の関係はいずれの土についても $\theta = 0.30A^2$ で概ね表せた。一方、可給態窒素は分子を明確に

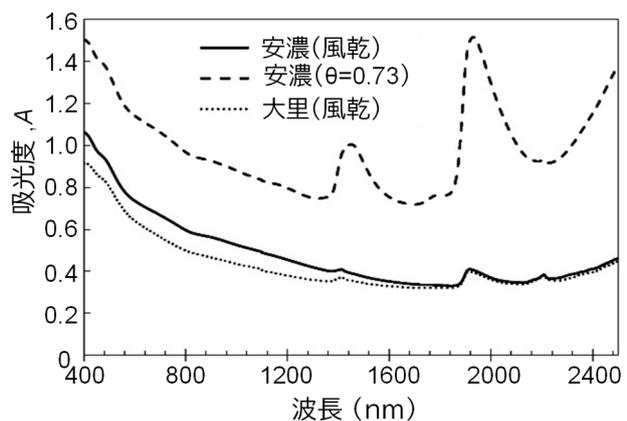


図1 土の一般的な波形

定義できず、対応する吸収波長も不明瞭なため、水分量の様には単線形回帰分析では推定できなかった。そこで主成分回帰分析を行った。まず、検量式作成データに対する主成分数と RMSE の関係を調べた(図 2)。Case 1 では主成分数が 9、13、25 から RMSE の低下率が小さくなった。Case 2 では、主成分数が 8 以上で RMSE が急激に低下した。そこで可給態窒素の検量式に用いる主成分数を Case1 では 13、Case2 では 8 とした。同様に、各物理化学性についても、検量式作成に用いる主成分数を求めた(表 1)。図 3 に Case 1 の回帰結果を示す。検量式作成データに用いた 81 試料中 61 試料については実測値と推定値の残差が 2 mg/100g 未満だった。また、検量式評価データについては RMSE が 1.72 であり、21 試料中 15 試料については、実測値と推定値の残差 2 mg/100g 未満だった。評価データを概ね推定できたといえる。一方、この検量式は高野尾の試料を残差が 3.2 mg/100g で推定できたものの、森寺の試料を 22.5 mg/100g 過大評価し、伊賀、雲出、安濃、榊原についても 10 mg/100g 程度過大評価した。1 地区の試料に基づく検量式はその地区の試料の推定には有効でも、他地区の推定には不適といえる。図 4 に Case 2 の回帰結果を示す。検量式作成データの RMSE は 0.90 であり、最大残差 1.64 mg/100g と良好な検量式が得られた。この検量式を大里の試料の推定に用いると、RMSE が 3.45 となった。8 mg/100g 以上の大きな残差の試料が 95 試料中 3 試料あったが、87 試料の残差は 5 mg/100g 未満であり、さらに 53 試料は 2 mg/100g 未満と、可給態窒素量をある程度推定できたともみなせる。精度の向上には作成データ数を増やす必要があると考えられる。表 1 に、その他の物理化学性を推定した際の RMSE を示す。Case 1 の検量式評価データでは、NO₃-N、pH、CEC、交換性 Ca、Mg の RMSE は可給態窒素よりも小さく、概ね推定できた。一方、他地区の推定には、いずれの項目も RMSE が大きく不適だった。Case 2 では、NH₄-N と CEC 以外の項目の RMSE については可給態窒素と同程度だった。

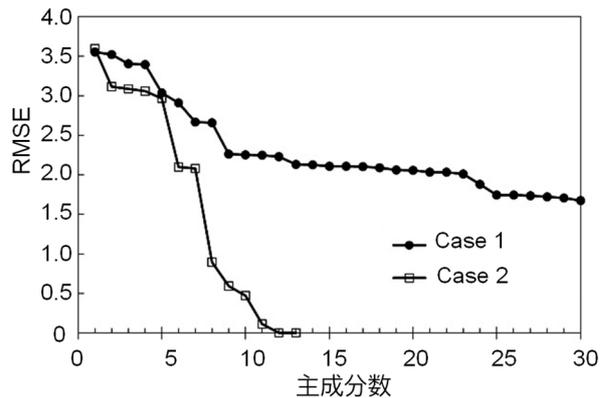


図2 主成分数に伴うRMSE値の推移

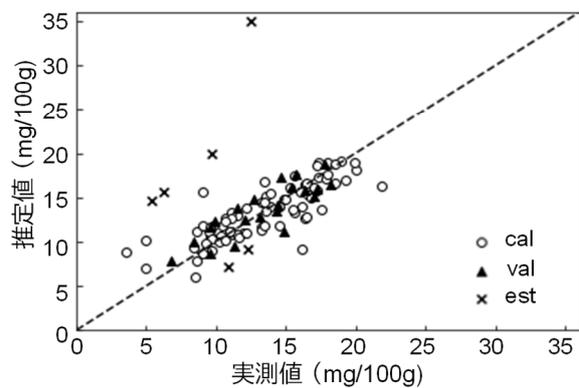


図3 Case 1 検量式の性能評価

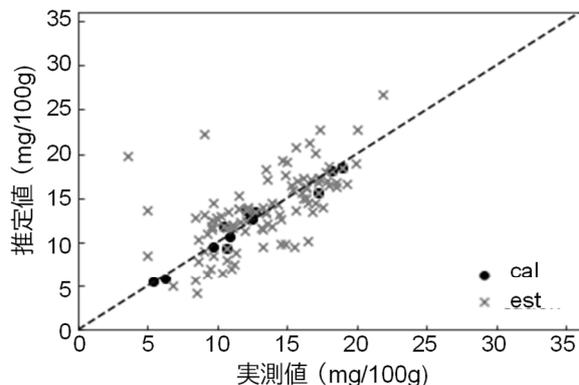


図4 Case 2 検量式の性能評価

表1 主成分数とRMSE

	Case 1			Case 2			
	#	cal	val	est	#	cal	est
AvN	13	2.13	1.72	11.60	8	0.89	3.45
NH ₄ -N	15	0.67	5.00	25.38	8	1.57	8.73
NO ₃ -N	11	1.86	1.68	32.63	7	0.88	2.30
TC	9	2.55	2.37	13.99	12	0.24	3.91
TN	7	2.09	2.51	12.87	8	1.21	3.34
pH	14	1.09	1.12	45.13	9	1.55	3.16
CEC	19	1.15	1.61	13.48	10	0.27	8.33
P	27	1.19	3.00	134.99	3	1.52	3.70
Ca	12	1.56	1.34	36.80	7	2.28	3.30
K	22	1.58	2.93	65.61	7	2.11	3.05
Mg	16	1.53	1.63	42.25	9	2.17	3.64

#:主成分数 cal:検量式作成データ
val:検量式評価データ est:推定データ