

講演要旨

日本の水田土壌における可給態窒素レベルを規定する要因

農研機構農業環境研究部門 一ノ瀬侑理

1. はじめに

水田における窒素肥沃度は水稲の収量および品質を規定する重要な因子であり、水稲が吸収する無機態窒素の半分以上は可給態窒素に由来することが報告されている。日本では、1969年以降、米の過剰生産の抑制と多様な作物需要への対応を目的として田畑輪換が導入され、現在では大豆および小麦が主要な転作物となっている。しかし近年、大豆収量の減少が全国的に報告されており、その要因の一つとして可給態窒素の低下が指摘されている。

これまで、田畑輪換における可給態窒素の低下は地域レベルで確認されているが（住田ら, 2005; 西田 2010; Nishida et al. 2013）、全国規模での統一的な評価は行われていない。可給態窒素の減少は大豆生産のみならず、水稲の収量および品質にも長期的な影響を及ぼす可能性があるため、その規定要因の解明が喫緊の課題である。

2. 水田土壌における乾田化傾向（伊勢ら, 2022）

田畑輪換による土壌種の変化を明らかにするため、全国12道県の田畑輪換ほ場を含む水田を対象に、大規模な土壌断面調査を実施した（1,474地点）。その結果、特に田畑輪換や畑地転換を行う地点において、グライ低地土群から灰色低地土群等へ土壌種が変化している可能性が示唆された。これは、広域的に乾田化が進行した結果、地下水グライ層の出現位置が深くなったためだと考えられる。

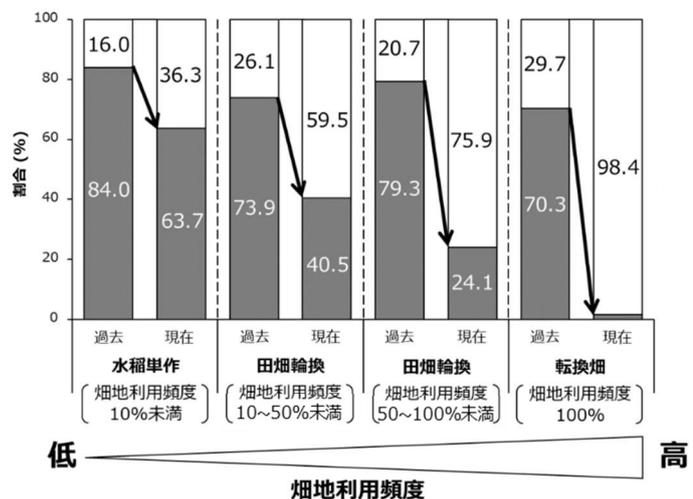


図1 畑地利用頻度と土壌の性質の関係
（伊勢ら, 2022.を編集）

過去：1970年代までの土壌調査結果。

現在：2019～2021年の土壌調査結果。

■湿田グループ：泥炭土、グライ黒ボク土、グライ低地土、停滞水グライ土。

□乾田グループ：湿田以外の土壌群。

3. 日本の水田土壌における可給態窒素レベルを規定する要因の解明 (Ichinose et al. 2023)

日本における田畑輪換の拡大に伴い、各地で可給態窒素 (Av-N) の低下が報告されており、さらに伊勢ら (2022) による広域的な乾田化の進行を踏まえると、水田土壌における全国的な Av-N レベルの低下が懸念される。本研究では、日本全国の水田を対象とした包括的なデータセットを活用し、水田土壌における Av-N の規定要因を明らかにすることを目的とした。具体的には、土壌温度、土地利用 (畑作利用頻度)、土壌タイプおよび次表層土性が Av-N に及ぼす影響を定量的に評価するとともに、土壌全炭素 (TC) および全窒素 (TN) 含量の変動についても検討した。

2020 年および 2021 年に全国 13 道県 (北海道、青森県、岩手県、秋田県、茨城県、千葉県、神奈川県、新潟県、愛知県、滋賀県、兵庫県、長崎県、鹿児島県) において土壌断面調査を実施し、合計 2,600 地点の水田作土層から土壌試料を採取した。土壌中の Av-N の測定には、絶乾土水振とう抽出-TOC 測定法 (農研機構中央農研, 2015) を用い、TC と TN は乾式燃焼法にて測定した。土壌温度、土地利用、土壌タイプおよび土性の影響を評価するため、試料は表 1 のように分類し、統計解析に供した。

表 1 土壌温度、土地利用、土壌タイプ、土性ごとのサンプル数

土壌温度	N	土地利用			土壌タイプ				土性 (次表層)		
		水稲連作	短期畑	長期畑	有機	湿	半湿	他	泥炭	細粒質	中粗粒質
Mesic	847	660	150	37	72	395	230	150	25	623	181
Thermic	1753	752	801	200	128	420	805	400	18	1007	705

- 土壌温度: 「mesic地域 (15°C未満)」、「thermic地域 (15°C以上)」の2区分に分類
- 土地利用形態: 水田における畑作利用頻度に基づき、「水稲連作 (畑作利用頻度10%未満)」、「短期畑 (畑作利用頻度50%未満)」、「長期畑 (畑作利用頻度50%以上)」の3区分に分類
- 土壌タイプ: 土壌断面調査に基づき、「有機質土 (泥炭土、泥炭質グライ低地土、泥炭質灰色低地土、泥炭質黒ボク土)」、「湿土 (グライ低地土、グライ黒ボク土、停滞水グライ土)」、「半湿 (灰色低地土、疑似グライ土)」、「他」の4区分に分類
- 土性 (次表層): 「泥炭層」、「細粒質 (SCL, CL, SiCL, LiC, SiC, HC)」、「中粗粒質 (S, LS, CoSL, FSL, SiL, L)」の3区分に分類

① 土壌温度

水田土壌における Av-N を規定する因子として、土壌温度が最も大きな影響を及ぼし、次いで土地利用、土壌タイプの順となることが明らかとなった (表 2)。Av-N は土壌温度と負の相関を示し、thermic 地域 (15 °C以上) における平均 Av-N ($107 \pm 48 \text{ mg kg}^{-1}$) は、mesic 地域 (15 °C未満) における平均 Av-N ($166 \pm 74 \text{ mg kg}^{-1}$) よりも有意に低かった。全窒素と可給態窒素の関係では、mesic 地域の直線の傾きが thermic 地域よりも大きかった (図 2)。これ

は、mesic 地域では有機態窒素の無機化が抑制されることで、全窒素あたりの Av-N 含量が多くなったためだと考えられた。

表 2 可給態窒素に対する土壌温度、土地利用、土壌タイプの影響

Source	可給態N			
	df	F-ratio	P-value	η^2
土壌温度	1	74.1	***	0.021
土地利用	2	19.6	***	0.011
土壌タイプ	2	4.5	**	0.003
土壌温度×土地利用	2	5.0	*	0.003
土壌温度×土壌タイプ	2	2.7	0.07	0.002
土地利用×土壌タイプ	4	1.9	0.10	0.002
土壌温度×土地利用×土壌タイプ	4	0.5	0.76	0.001

df, degree of freedom; *, $p < 0.5$; **, $p < 0.01$; ***, $p < 0.001$; η^2 is effect size, For the soil type, organic soil parameter was excluded due to a zero-sample size in paddy < 50% in thermic temperature regime.

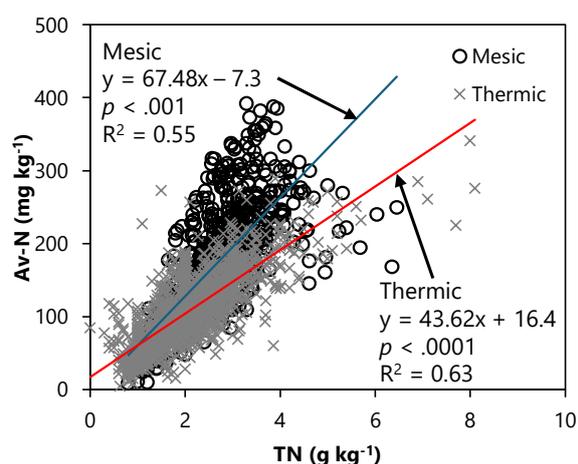


図 2 可給態窒素と全窒素の相関関係

- ② 土地利用：水田における畑作利用頻度が 50%を超えると、土壌温度に関わらず Av-N が顕著に低くなった（図 3）。東北地域では畑作利用頻度の増加に伴い水田土壌中の Av-N 含量が減少することが報告されており（住田ら 2005; Nishida et al. 2013）、本研究はこの傾向が全国規模でも確認されることを示した。Av-N/TN 比が畑地利用頻度の増加に伴い低下したことから、畑地利用頻度の増加は有機態窒素の無機化を促進させると考えられる。さらに、水田における大豆作は、水稲作に比べて窒素収支が大きくマイナスになることが報告されている（Takakai et al. 2017）。これは、大豆が窒素固定を行うものの、収穫に伴う窒素の持ち出し量が多いためだと考えられる。一般に、農家は田畑輪換における大豆作で有機物施用をあまり行わないが、本研究および先行研究の結果は、大豆作時の有機物施用の重要性を示唆している。

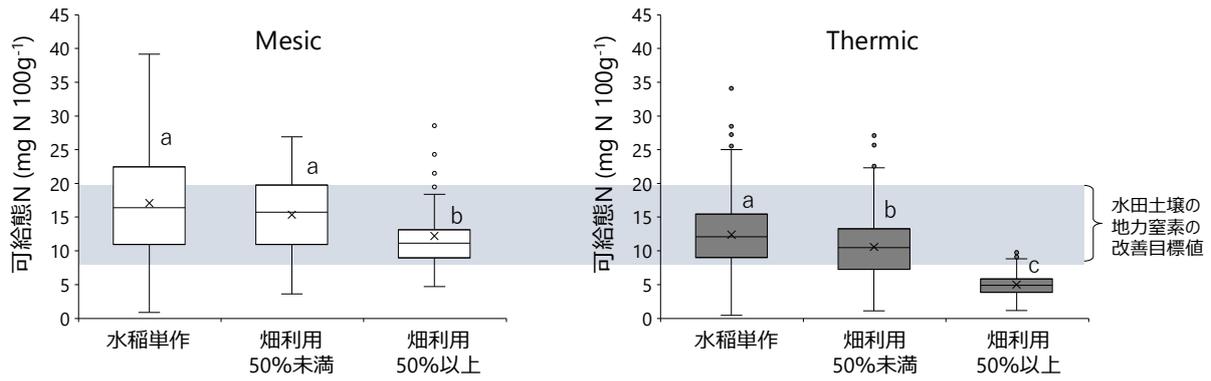


図 3 土地利用ごとの可給態窒素含量

③ 土壌タイプならびに土性：土壌温度区分に関わらず、半湿土壌の Av-N は湿土壌よりも低かった（図 4）。この結果は、全国的な乾田化の進行が水田土壌における Av-N の低下を引き起こす可能性を指摘している。さらに、中粗粒質土壌における Av-N は細粒質土壌よりも低かった（図 5）。これは、透水性の高い土壌で乾燥が進行することにより Av-N が低くなる可能性を示唆している。

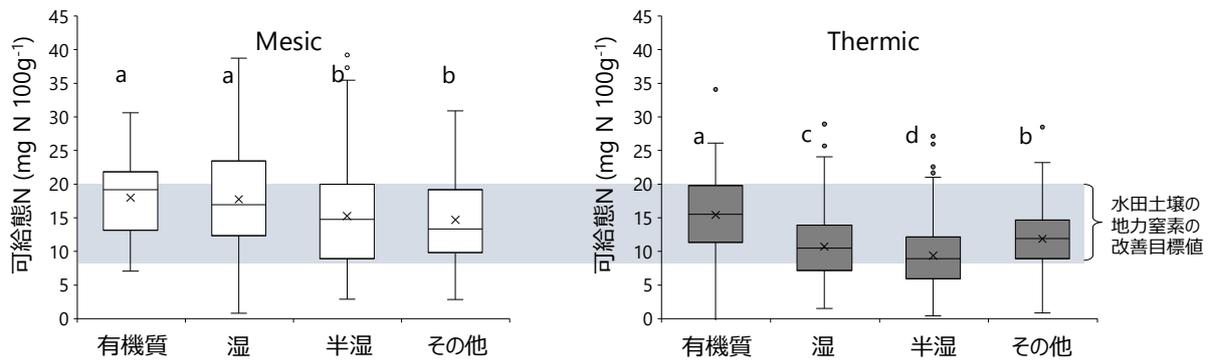


図 4 土壌タイプごとの可給態窒素含量

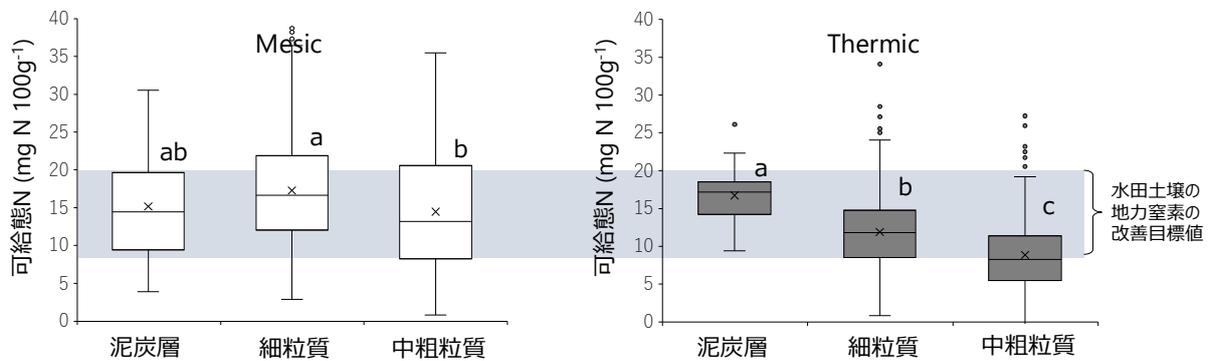


図 5 次表層土性ごとの可給態窒素含量

本研究では、水田土壌中の Av-N に最も強く影響を与える因子が土壌温度であり、地域ごとの農地管理方法の構築が重要となることを示した。さらに、全国的な水田土壌における乾田化は Av-N の低下を進行させ、その影響は **thermic** 地域でより顕著となる可能性を指摘した。今後、田畑輪換を拡大しながら持続的な作物生産を実現するためには、土壌温度や畑地利用頻度を考慮した地力管理が重要となる。

4. おわりに

田畑輪換の拡大に伴い、水田土壌における可給態窒素レベルの適切な管理がより一層重要となる。今後は、可給態窒素レベルを精緻に予測するモデルの開発・活用を通じて、水田土壌における地力維持・向上に貢献したい。

5. 謝辞

本研究の一部は生研支援センター「オープンイノベーション研究・実用化推進事業」(JPJ011937)において行った。北海道、青森県、岩手県、秋田県、茨城県、千葉県、神奈川県、新潟県、愛知県、滋賀県、兵庫県、長崎県および鹿児島県の公設試験場の方々には多大なご協力をいただきましたことに厚く御礼申し上げます。

引用文献

- 伊勢ら (2022) 12 道県の水田土壌における乾田化傾向の要因, 土肥誌, 93. 108–120.
- 住田ら (2005) 田畑輪換の繰り返しや長期畑転換に伴う転作大豆の生産力低下と土壌肥沃度の変化, 東北農研研報, 103. 39–52
- 西田 (2010) 田畑輪換土壌の肥沃度と管理—変化の要因と制御の考え方—, 日本土壌肥料学会編, 博友社, 27–52.
- 農研機構中央農業総合研究センター(2015)水田土壌可給態窒素の簡易・迅速評価マニュアル.
- Ichinose et al. (2023) Factors controlling available soil nitrogen in Japanese paddy fields. *SSPN*. 69, 303–314.
- Nishida et al. (2013) Status of paddy soils as affected by paddy rice and upland soybean rotation in northeast Japan, with special reference to nitrogen fertility. *SSPN*, 59, 208–217.
- Takakai et al. (2017) Changes in the Nitrogen Budget and Soil Nitrogen in a Field with Paddy–Upland Rotation with Different Histories of Manure Application. *Agriculture*, 7, 39.