

# 日本の水田土壌における 可給態窒素レベルを規定する因子

一ノ瀬侑理（農研機構農業環境研究部門 土壌環境管理研究領域）

## ➤ 水稲栽培と可給態窒素

- 水稲の収量や品質は、窒素肥沃度の影響を大きく受ける
- 水稲の吸収窒素の過半は、可給態窒素が無機化された無機態窒素である  
⇒ 可給態N含量は、水田土壌肥沃度の指標として重要

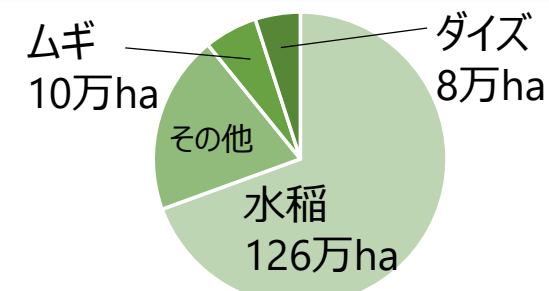
## ➤ 水田における田畑輪換の推進

- コメの生産調整以降、田畑輪換が推進され、日本の食料生産を支える上で重要な役割を担っている

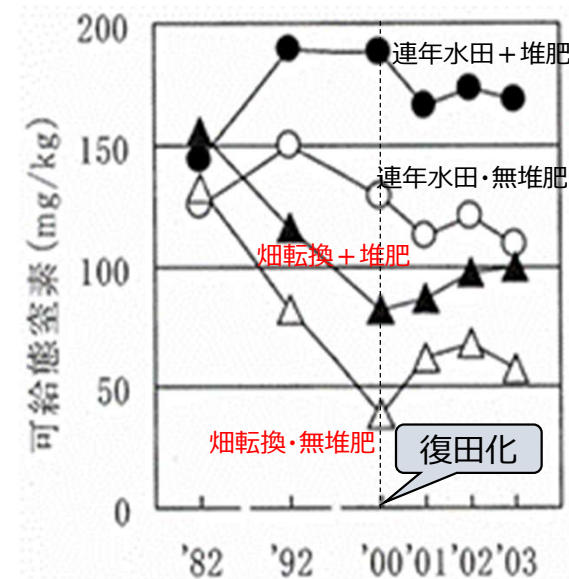
利点：連作障害の抑制、土壌透水性の改良、土壌窒素の無機化

- 住田ら、2005（東北農研大仙研究拠点、灰色低地土）：

⇒ 水田土壌における畑地利用頻度の増加に伴う可給態N含量の低下が指摘



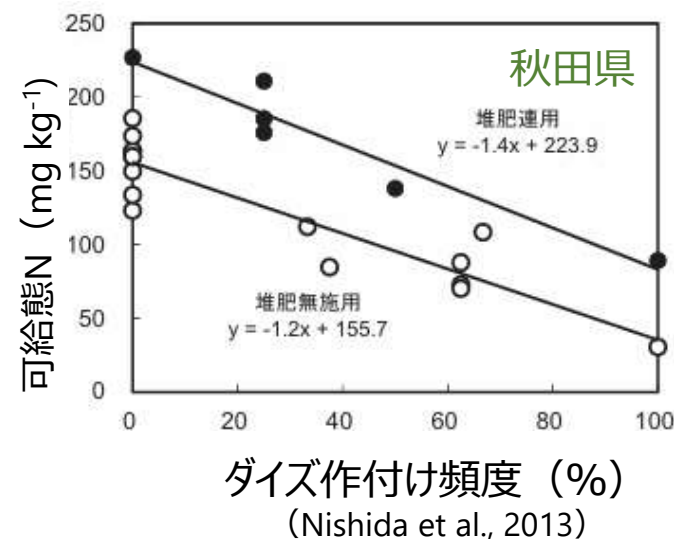
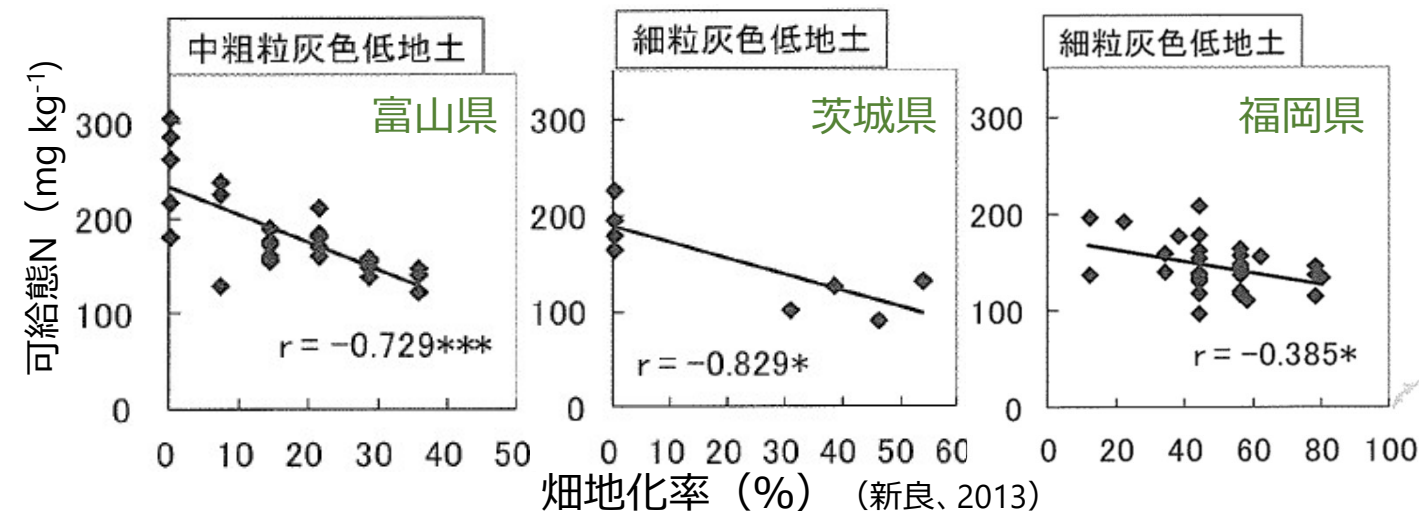
水田における作物別作付け面積  
(農林水産省、2024)



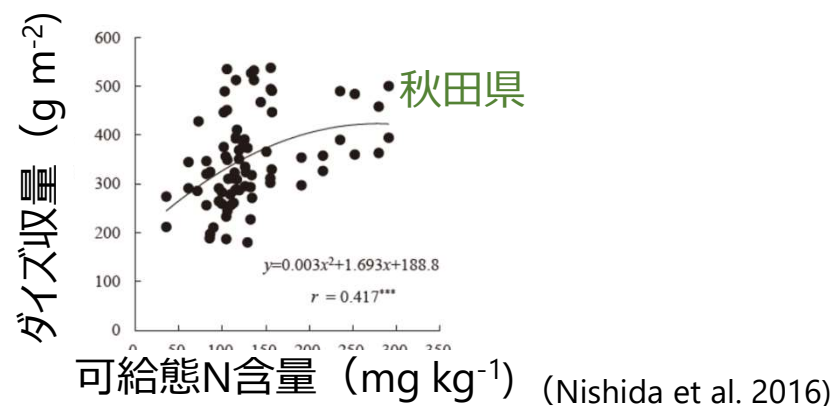
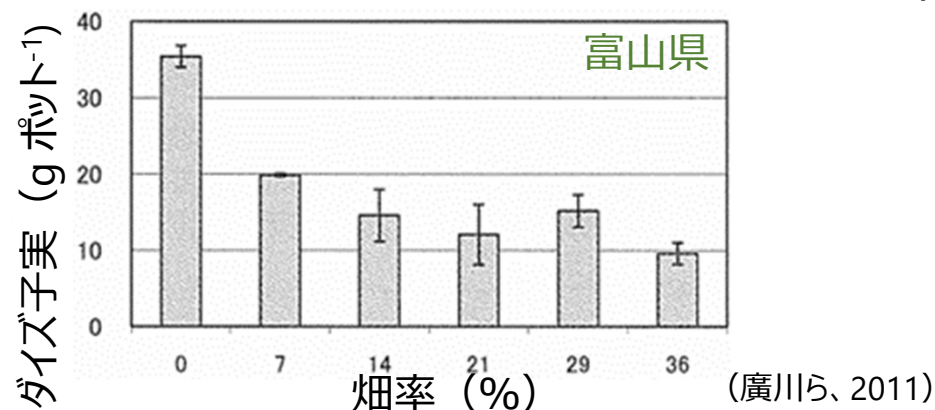
長期畑転換あと復田化による  
土壌中の可給態Nの変化  
(東北農研、住田ら 2005)

# 田畑輪換と可給態窒素、ダイズ収量の関係

## • 水田における畑地化率と可給態Nの関係



## • 田畑輪換でのダイズ収量と土地利用、可給態窒素の関係



# 水田土壌における乾田化傾向

- 土地利用により土壌タイプが変化（伊勢ら、2022）  
全国12道県の水田（田畑輪換含む）で土壌断面調査を実施（1,474地点）

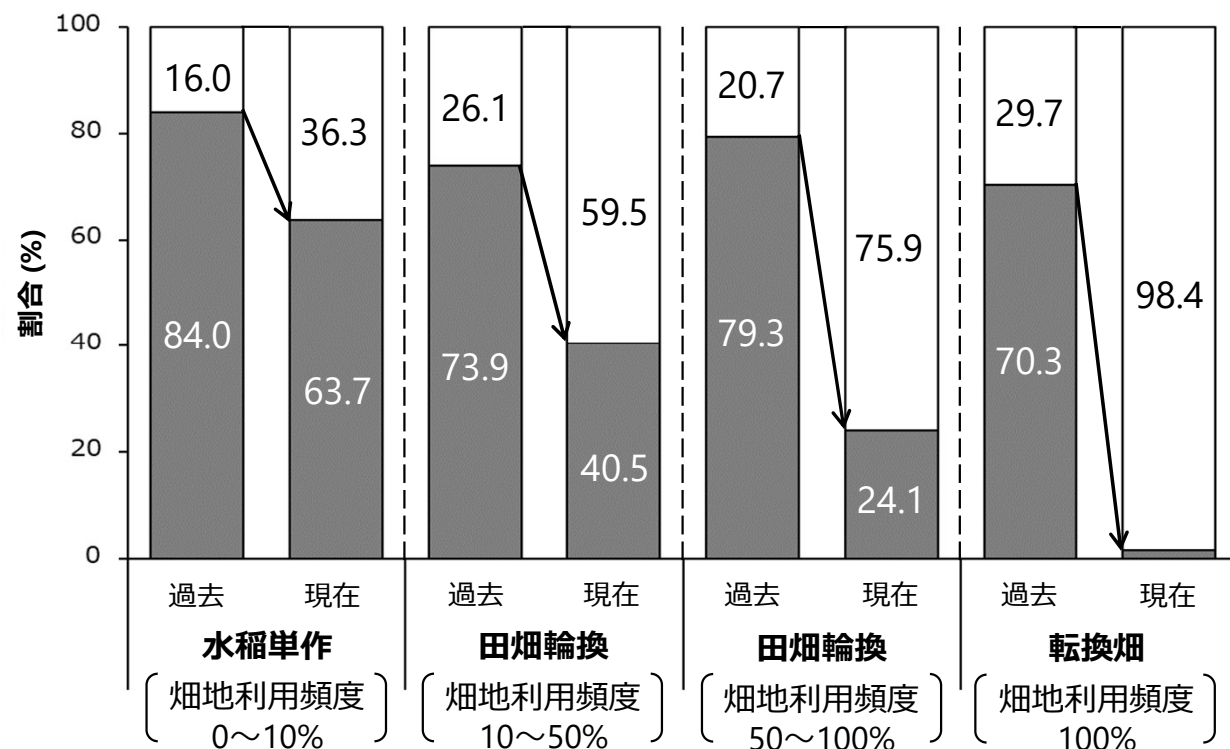
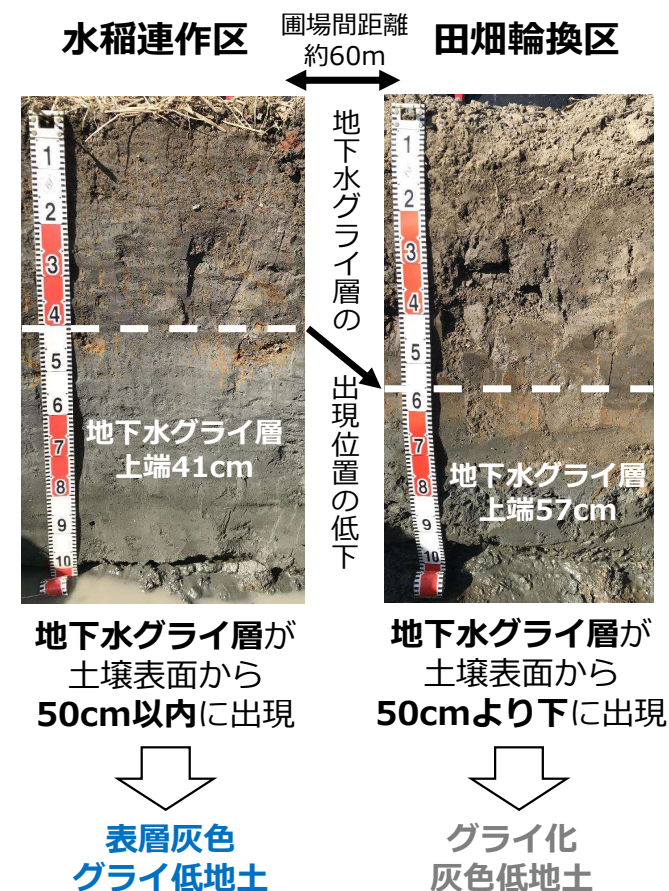


図 畑地利用頻度と土壌の性質の関係

■ 湿田グループ：泥炭度、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

- 実際の圃場での観察  
同一圃場内の異なる土地利用における断面調査



# 水田土壌中の可給態Nに影響を及ぼすと考えられる因子

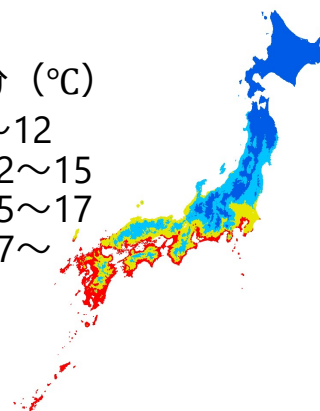
## ➤ 土壌温度：

日本農耕地土壌（3,533地点）のSOC、TN含量を規定する因子（Matsui et al. 2021）

土壌温度の違いとSOC、TN含量

| 地温区分 | SOC (MgC ha <sup>-1</sup> ) | TN (MgN ha <sup>-1</sup> ) | 地温区分 (°C) |
|------|-----------------------------|----------------------------|-----------|
| 寒    | 110±56 a                    | 8.3±3.4 a'                 | 寒 寒 12    |
| 冷    | 86±51 b                     | 6.9±2.9 b'                 | 冷 12~15   |
| 温    | 73±38 c                     | 6.5±2.9 c'                 | 温 15~17   |
| 暖    | 69±42 d                     | 6.6±3.1 c'                 | 暖 17~     |

地温区分 (°C)  
寒 寒 12  
冷 12~15  
温 15~17  
暖 17~



## SOCの規定因子

- ・ **土壌温度**（寒、冷、温、暖） **影響大きい**
  - ・ 土地利用（水田、畑地、樹園、草地）
- ※ただしアロフェン質黒ボク土を除く

## ➤ 土地利用：

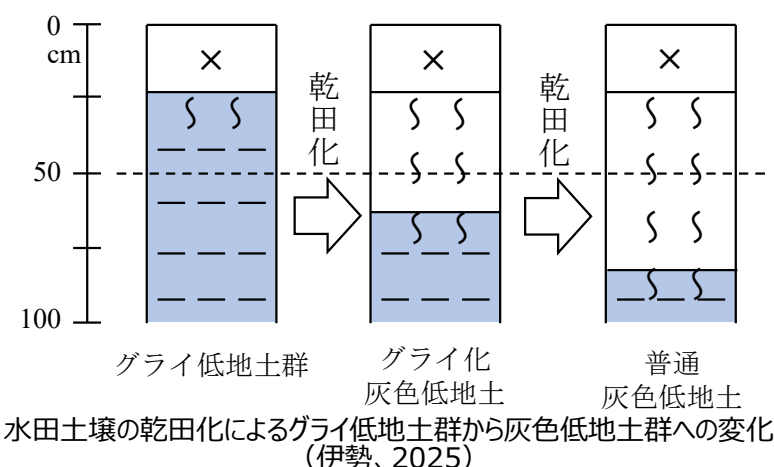
地域スケールで、水田における畑地利用頻度の増加に伴い、可給態N含量が減少（住田ら、2005; 新良、2013など）

## ➤ 土壌タイプ：

田畑輪換を行った圃場は、グライ低地土群に替わり、灰色低地土群の割合が増加（伊勢ら、2022）

## ➤ 次表層土性：

土性の違い（細粒質や中粗粒質）が可給態N含量に及ぼす影響については、これまで知見がない



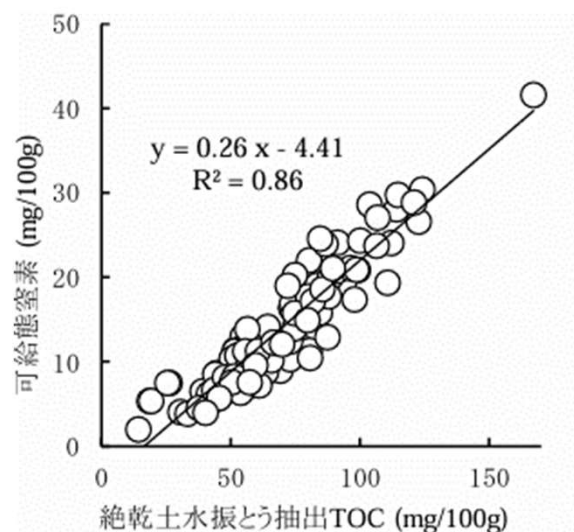
## ➤ 調査地

- ・簡易土壌調査：北海道、青森、岩手、秋田、茨城、神奈川、千葉、新潟、愛知、滋賀、兵庫、長崎、鹿児島
- ・土壌サンプリング：水田作土層の土壌採取（2,600地点）
- ・サンプリング時期：2020、2021年10月～11月（一部の地域では、夏や1月～3月にも実施）

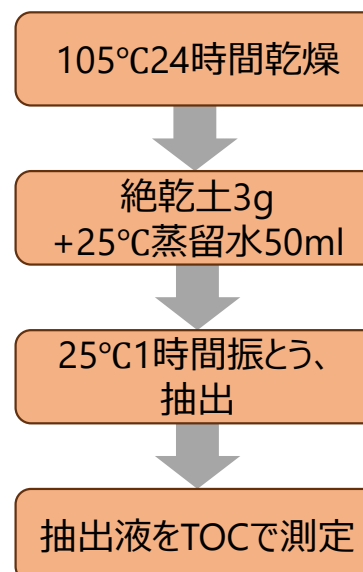
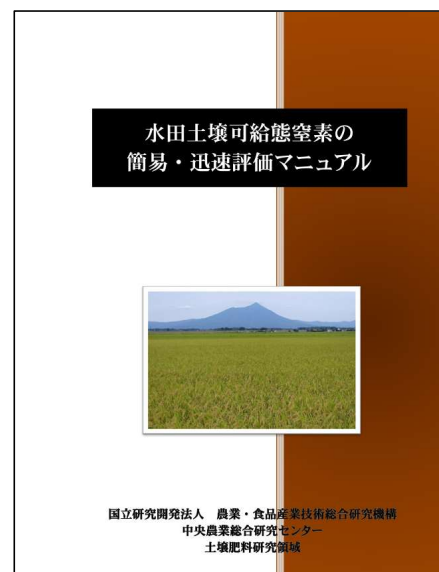
## ➤ 可給態N分析方法：絶乾土水振とう抽出-TOC測定法（農研機構中日本農研）

絶乾土水振とうで抽出された有機態炭素量は、水田土壌の種類や作付体系に関わらず、4週間インキュベーション法による可給態N量と高い正の相関がある（東ら、2015、土肥誌）

簡易迅速  
評価法



絶乾土水振とう抽出法によりTOCと可給態窒素の関係



## ➤ 土壌温度

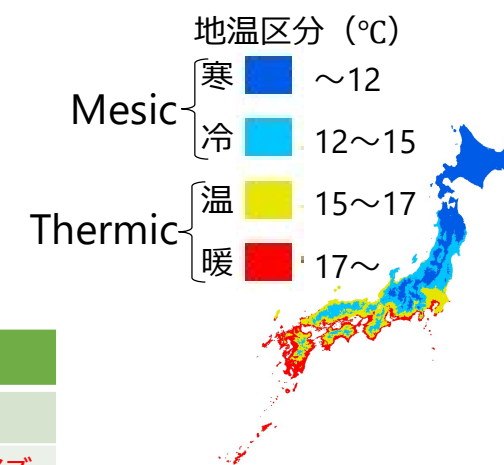
Mesic (15°C未満)、Thermic (15°C以上)

## ➤ 土地利用 (畑地利用率)

水稲単作、畑地利用率50%未満以上、畑地利用率50%以上

※調査年から過去5年間の農地利用

| 土地利用       | 1年目    | 2年目    | 3年目    | 4年目    | 5年目    |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 水稲単作       | 水稲     | 水稲     | 水稲     | 水稲     | 水稲     |
| 畑地利用率50%未満 | 水稲     | ムギ⇒ダイズ | 水稲     | 水稲     | ムギ⇒ダイズ |
| 畑地利用率50%以上 | ムギ⇒ダイズ | ムギ⇒ダイズ | ムギ⇒ダイズ | ムギ⇒ダイズ | 水稲     |



## ➤ 土壌タイプ

有機質土、湿土 (グライ土を含む)、半湿土 (灰色低地土を含む)、その他

※有機質土：泥炭土、泥炭質グライ土、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

※半湿土：灰色低地土、疑似グライ土

※その他：盛土造成土、多湿黒ボク土、低地水田土、褐色低地土、未熟低地土、褐色森林土、陸生未熟土

## ➤ 次表層土性 (40cm深含む層)

泥炭層、細粒質 (SCL, CL, SiCL, LiC, SiC, HC)、中粗粒質 (S, LS, CoSL, FSL, SiL, L)

# 調査地点の土地利用、土壌タイプ、土性、積雪日数

| 道県  | N   | 年平均<br>土壌温度<br>(°C) | 土地利用<br>(畑地利用率) |       |       | 土壌タイプ |     |     |     | 土性 |     |     |     |     |     | 年間<br>積雪日数<br>(日) |
|-----|-----|---------------------|-----------------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-------------------|
|     |     |                     | 水稲単作            | 50%未満 | 50%以上 | 有機質   | 湿   | 半湿  | その他 | 表層 |     |     | 次表層 |     |     |                   |
|     |     |                     |                 |       |       |       |     |     |     | 泥炭 | 細粒  | 中粗粒 | 泥炭  | 細粒  | 中粗粒 |                   |
| 北海道 | 92  | 9.1                 | 45              | 26    | 21    | 19    | 27  | 40  | 6   | 0  | 90  | 2   | 2   | 89  | 1   | 139               |
| 青森  | 97  | 11.6                | 97              | 0     | 0     | 6     | 66  | 11  | 14  | 0  | 94  | 3   | 0   | 90  | 6   | 108               |
| 岩手  | 207 | 12.3                | 201             | 0     | 6     | 0     | 92  | 50  | 65  | 0  | 139 | 68  | 0   | 141 | 17  | 86                |
| 秋田  | 247 | 12.0                | 121             | 116   | 10    | 28    | 107 | 56  | 56  | 0  | 151 | 96  | 0   | 174 | 70  | 98                |
| 茨城  | 343 | 15.4                | 254             | 89    | 0     | 123   | 49  | 127 | 44  | 0  | 234 | 107 | 11  | 247 | 73  | 12                |
| 千葉  | 200 | 16.3                | 96              | 104   | 0     | 3     | 77  | 119 | 1   | 0  | 67  | 133 | 0   | 73  | 123 | 8                 |
| 神奈川 | 209 | 16.7                | 209             | 0     | 0     | 2     | 23  | 45  | 139 | 0  | 197 | 6   | 6   | 163 | 27  | 6                 |
| 新潟  | 204 | 14.4                | 196             | 8     | 0     | 19    | 108 | 73  | 4   | 0  | 164 | 40  | 23  | 129 | 48  | 63                |
| 愛知  | 200 | 16.9                | 0               | 0     | 200   | 0     | 31  | 142 | 27  | 0  | 164 | 36  | 0   | 74  | 126 | 19                |
| 滋賀  | 275 | 15.7                | 7               | 268   | 0     | 0     | 78  | 167 | 30  | 0  | 159 | 116 | 0   | 143 | 130 | 25                |
| 兵庫  | 206 | 15.7                | 186             | 20    | 0     | 0     | 70  | 97  | 39  | 0  | 116 | 90  | 0   | 134 | 63  | 41                |
| 長崎  | 201 | 17.3                | 0               | 201   | 0     | 0     | 6   | 90  | 105 | 0  | 144 | 57  | 0   | 150 | 49  | 4                 |
| 鹿児島 | 119 | 18.8                | 0               | 119   | 0     | 0     | 88  | 18  | 13  | 0  | 60  | 58  | 0   | 21  | 95  | 1                 |

西南地域  
畑地利用頻度が高い

茨城、愛知、滋賀、長崎  
灰色低地土>グライ低地土

千葉、愛知、鹿児島  
中粗粒質が多い

# 可給態Nに対する土壌温度、土地利用、土壌タイプの影響

N = 2,600

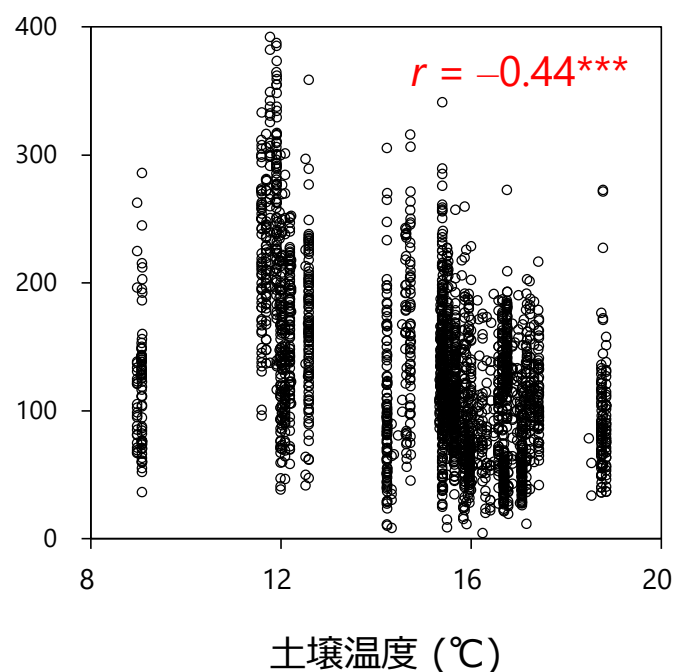
効果量

| Source          | 可給態N |         |         |          |
|-----------------|------|---------|---------|----------|
|                 | df   | F-ratio | P-value | $\eta^2$ |
| 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    |

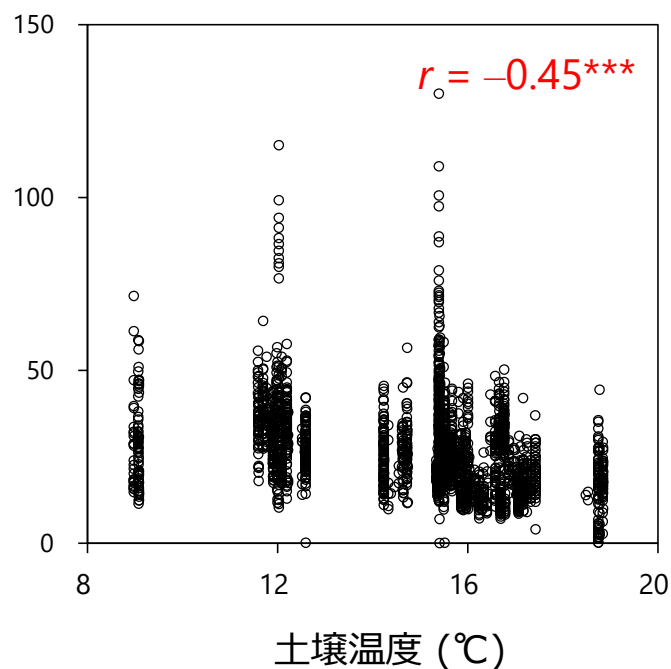
df, degree of freedom; \*,  $p < 0.5$ ; \*\*,  $p < 0.01$ ; \*\*\*,  $p < 0.001$ ;  $\eta^2$  is effect size, For the soil type, organic soil parameter was excluded due to a zero-sample size in paddy < 50% in thermic temperature regime.

# 土壤温度と可給態N含量、全炭素（TC）、全窒素（TN）

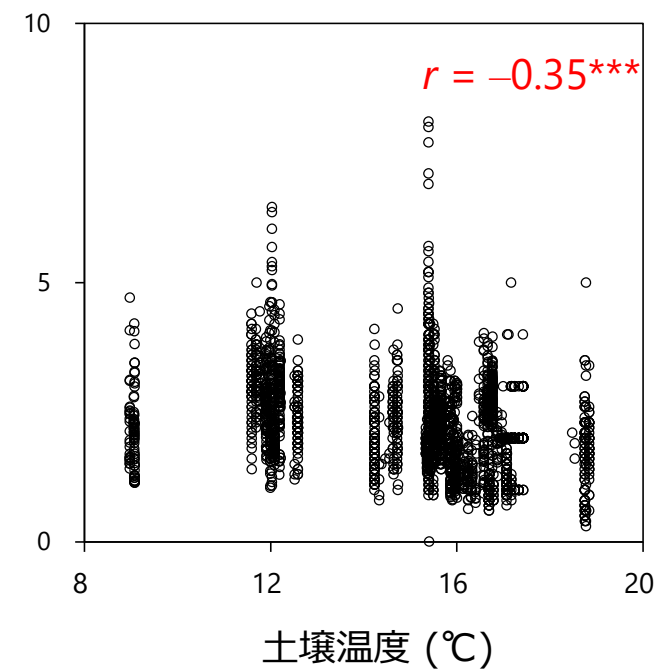
可給態N (mg N kg<sup>-1</sup>)



TC (g kg<sup>-1</sup>)

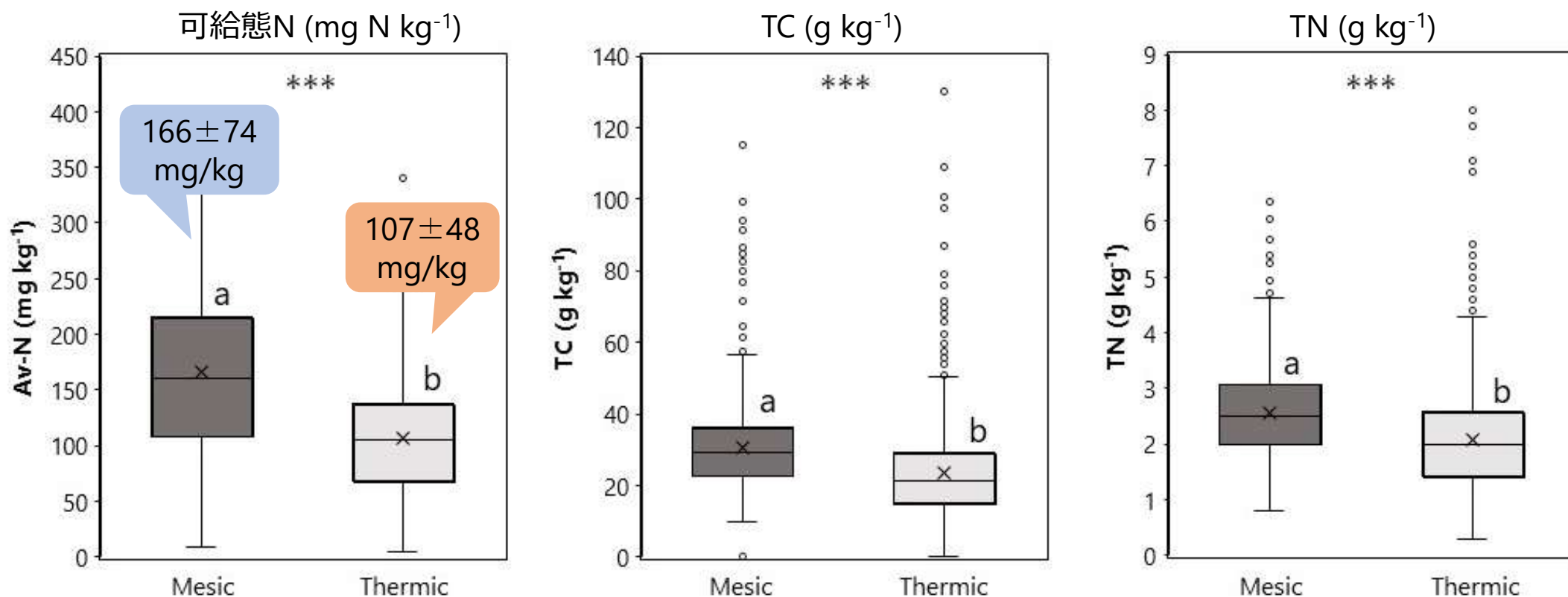


TN (g kg<sup>-1</sup>)



N = 2,600.  $r$  values represent Spearman's rank correlation coefficients. \*\*\*  $p < .001$

# 土壤温度別の可給態N、全炭素（TC）、全窒素（TN）

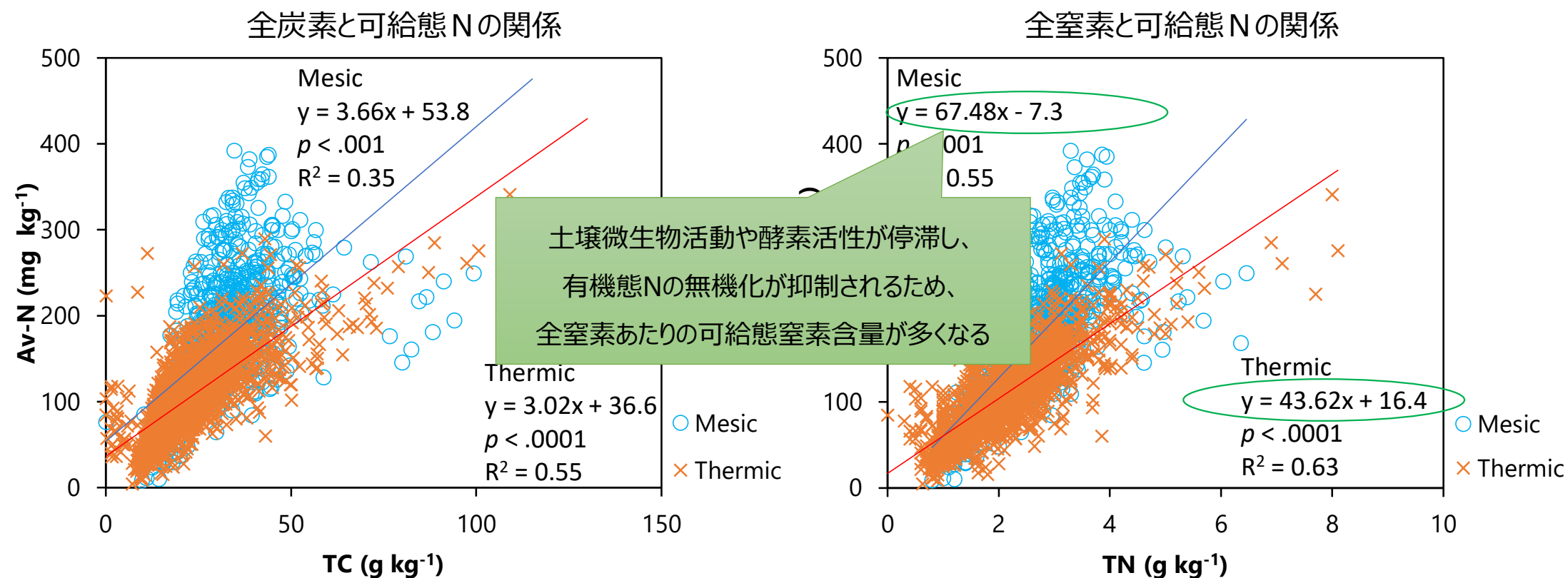


Mesic: N = 847, Thermic: N = 1753

Significant differences based on Wilcoxon test among mesic and thermic soil temperature regime.

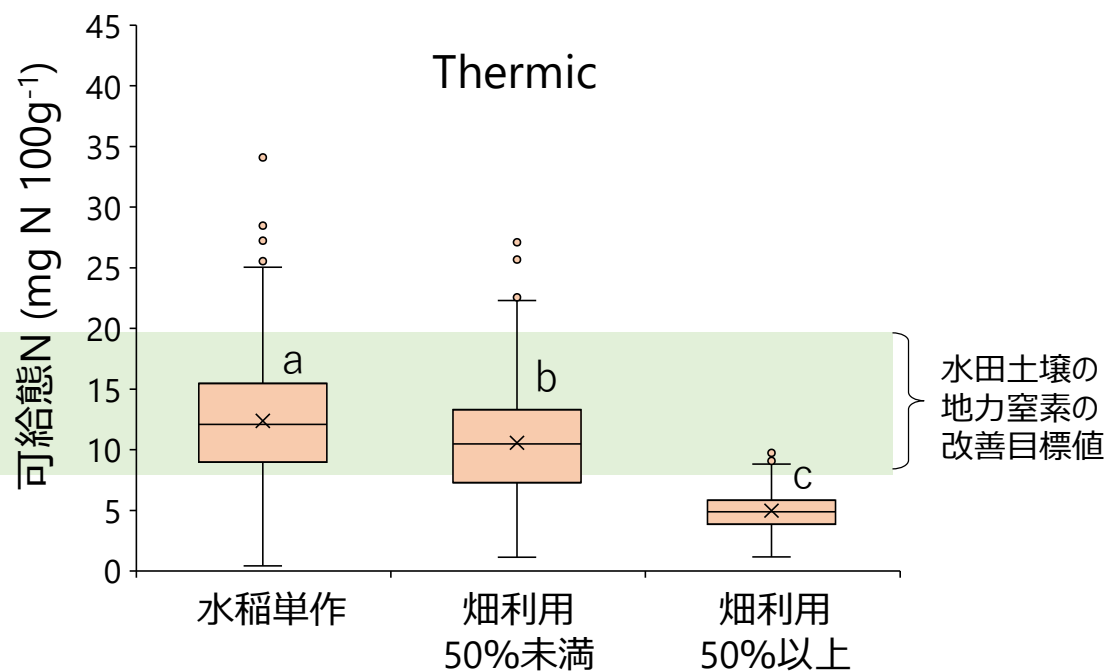
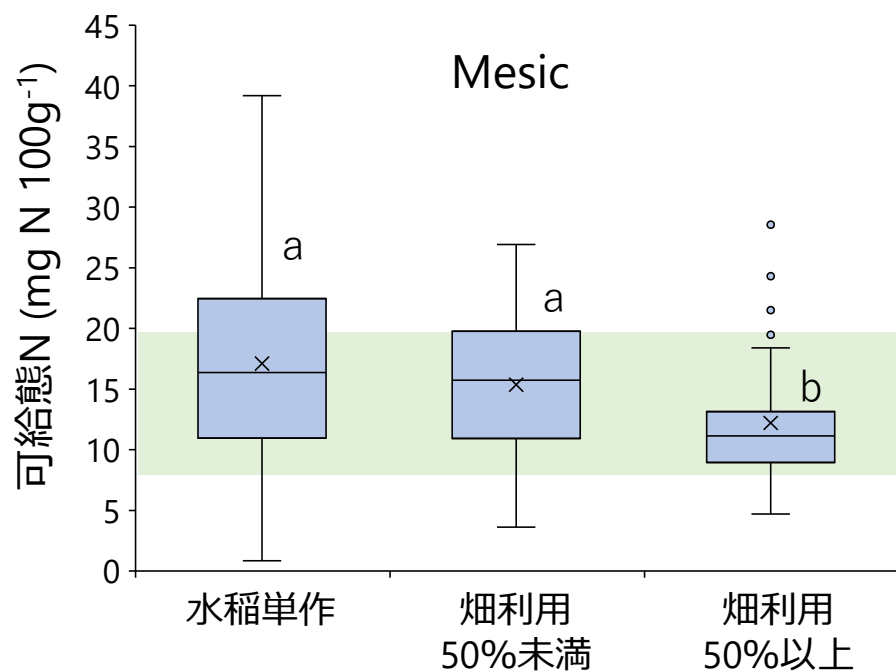
\*\*\*  $p < .001$

# 可給態Nと全炭素（TC）・全窒素（TN）の相関関係



Mesic: N = 847, Thermic: N = 1753  
スピアマンの順位相関検定、\*\*  $p < .01$

※以降の解析では、Mesic地域とThermic地域に分類し、それぞれについて解析を実施



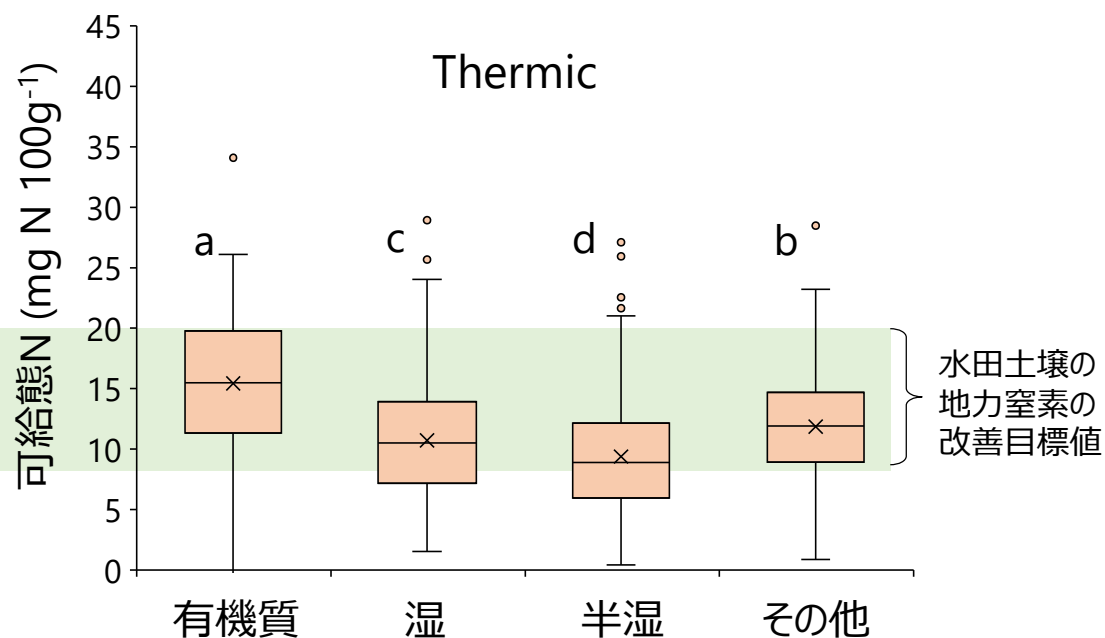
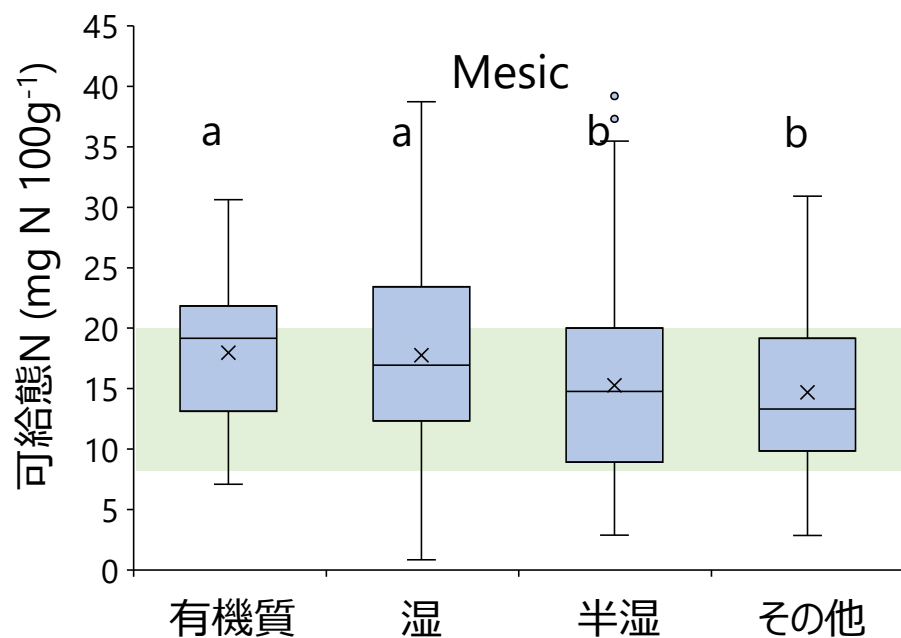
The results of the Steel-Dw...

Takakai et al., 2017 (東北地域の田畑輪換圃場)

- 水稲栽培のN収支：-2.3 ~ -4.3 g N m<sup>-2</sup> 年<sup>-1</sup>
- ダイズ栽培のN収支：-9.6 ~ -14.6 g N m<sup>-2</sup> 年<sup>-1</sup>

pe, and soil texture in subsoil in

※湿土：グライ低地土、グライ黒ボク土、停滞水グライ土  
※半湿土：灰色低地土、疑似グライ土

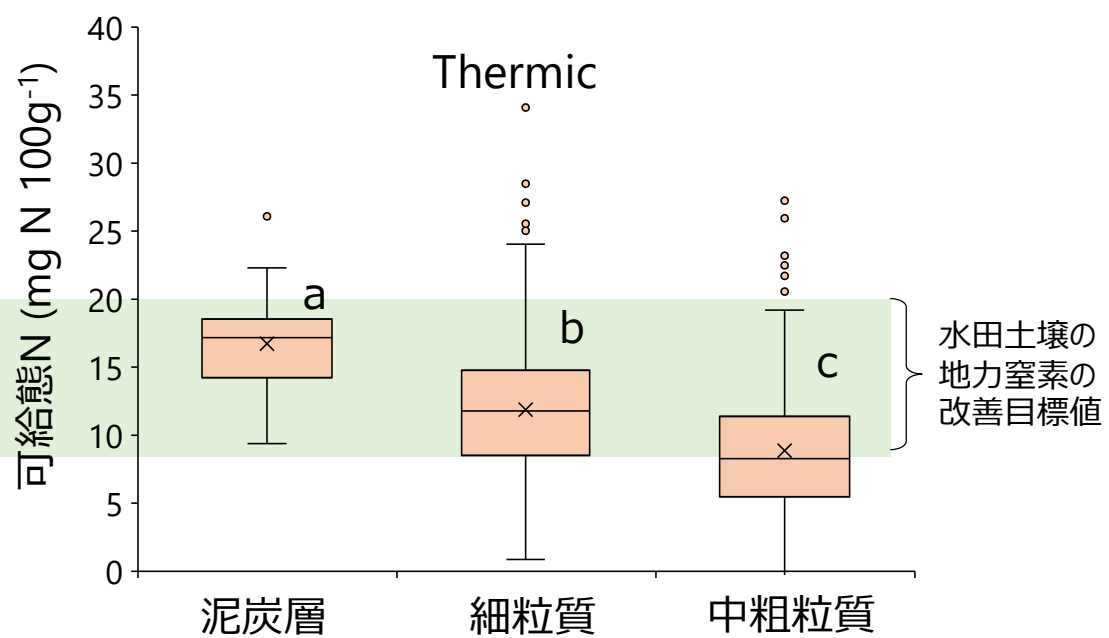
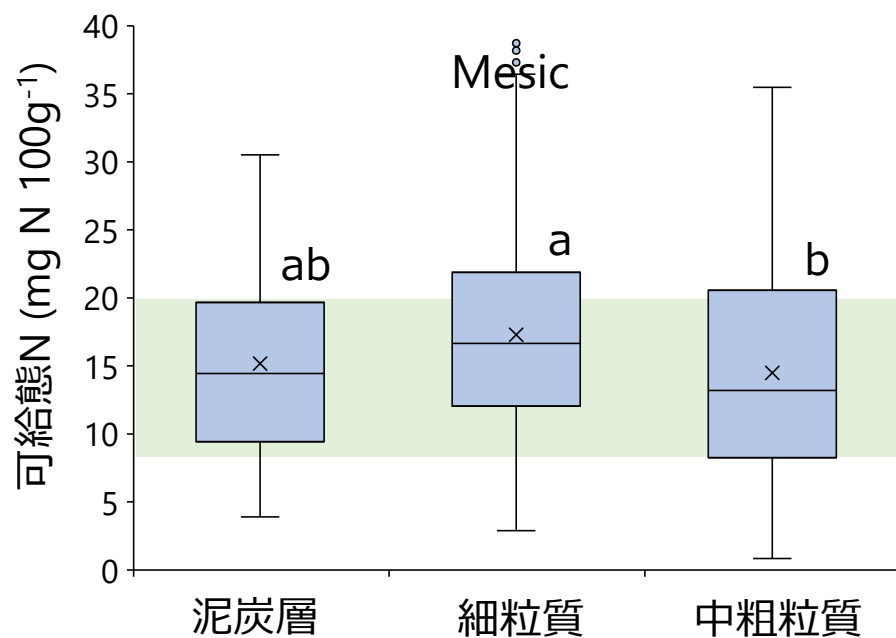


田畑輪換の実施に伴う乾田化の進行と土壌群の変化（伊勢ら、2022）

⇒ 可給態N含量の減少を加速させる

The results of the Steel-Dwass test for each soil temperature regime

subsoil in



The results of the Steel-Dwass test are shown by lowercase letters, which represent a comparison among land use, soil type, and soil texture in subsoil in each soil temperature regime.

# 結論：水田土壌の可給態窒素を規定する因子

➤ 日本全国の水田土壌を対象に、可給態窒素を規定する主要な要因を明らかにする

## 規定要因 1

### 土壌温度

- 土壌有機物分解
- 有機態Nの無機化

## 規定要因 2

### 土地利用

- 有機物分解の促進
- ダイズ作によるN収奪

### 土壌タイプ

全国的な乾田化の  
進行の影響

### 次表層土性

透水性の高い土壌に  
おける乾燥の進行

## 考察

- 田畑輪換による乾田化の進行は、可給態窒素含量を減少させる
- MesicよりもThermicで影響が顕著

田畑輪換を拡大しつつ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  
地域に応じた地力管理戦略の構築が重要

- ✓ 水田における畑地利用の増大は西南地域で求められる  
⇒ 西南地域では、有機物の積極的な施用が寒冷地以上に重要になる

公表論文: Ichinose et al. (2023), “Factors controlling available soil nitrogen in Japanese paddy fields”, *Soil Science and Plant Nutrition*. 69, 303-314

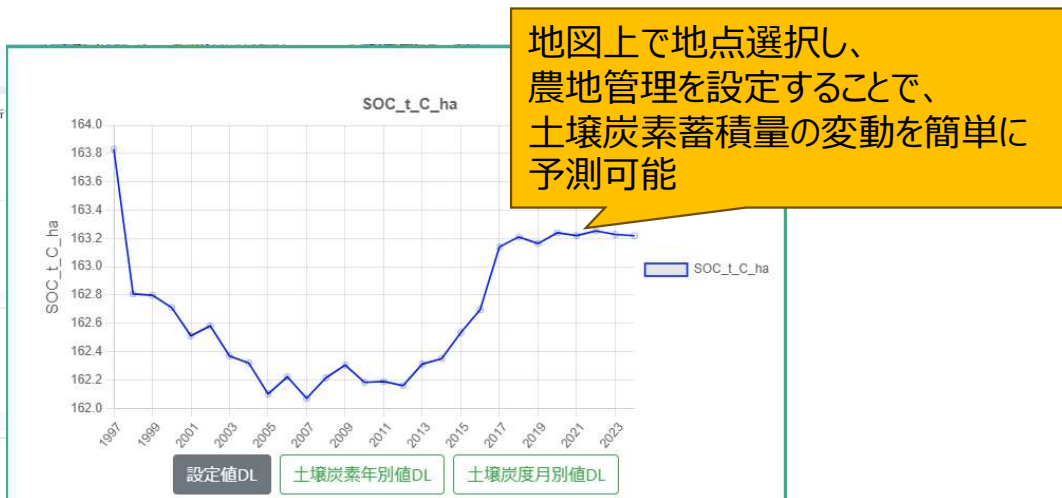
# これからの取り組み

➤ これから  
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。

## 農研機構



現在開発中の土壌炭素動態解析アプリ



炭素動態予測モデルを基にした  
可給態窒素動態予測モデルの開発に取り組んでいる

➤ 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)において実施しました。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。