

宮城県における水田土壌化学性の推移

石川亜矢子¹⁾, 島秀之, 横島千剛, 宮本武彰²⁾, 金澤由紀恵³⁾,
鷲尾英樹²⁾, 小山倫子²⁾, 若嶋淳子²⁾, 瀧典明⁴⁾

Changes in paddy soil chemistry in Miyagi Prefecture

Ayako ISHIKAWA, Hideyuki SHIMA, Yukitake YOKOSHIMA, Takeaki MIYAMOTO,
Yukie KANAZAWA, Hideki WASHIO, Tomoko OYAMA, Atsuko WAKASHIMA and Noriaki TAKI

抄録

宮城県では農林水産省補助事業の土壌環境基礎調査 (1979~1998年), 土壌機能実態モニタリング調査 (1999~2007年), 温室効果ガス・土壌炭素調査事業 (2008~2011年), 農地土壌炭素貯留等基礎調査事業 (2012年~現在) における県内農耕地土壌の理化学性の評価を行ってきた。その定点調査から, 県内水田の作土について一般的な土壌分析値及び栽培管理に関するアンケート調査のとりまとめを行った。

その結果, 水田土壌における資材の施用割合は, 堆きゅう肥が緩やかな減少傾向にあった。調査地点全体における土壌有機物含量や土壌窒素含量の変動は少なかったが, 可給態窒素含量は比較的低い地点が増加傾向にあり, 転作頻度の高い地点では12年間でほぼ半減していた。可給態ケイ酸は比較的高い地点で減少傾向だった。可給態リン酸は, 牛ふん堆肥などを継続的に施用している地点では無リン酸栽培が可能な水準の地点もあったが, リン酸質資材による土づくりが必要な地点が全体の2割程度存在した。交換性塩基類については増加傾向にあり, 特に交換性カリは顕著であった。

キーワード: 宮城県 水田土壌 土壌化学性, 可給態窒素, リン酸, 交換性カリ

key words: Miyagi Prefecture, paddy soil, soil chemistry, available nitrogen, phosphoric acid, exchanged potash

背景と目的

農地土壌は堆きゅう肥や土壌改良資材の施用, 転作, 水管理によって日々変化しており, 継続的に評価していくことが重要である。特に田畑輪換によって可給態窒素の低下が指摘されている (住田ら³⁾, 2005)。

宮城県では農林水産省補助事業の土壌環境基礎調査 (1979~1998年), 後継の土壌機能実態モニタリング調査 (1999~2007年) を実施し, 県内農耕地の理化学性の評価を行った。岡本ら¹⁾は水田土壌の可給態リン酸含量の増加を指摘したが, その後若嶋ら²⁾は一転して不足している地点が多いことを示した。

土壌は農業生産の基盤であり, その性質は作物の収量や品質, 作業性などに大きな影響を与える。また近年は国連が提唱する持続可能な開発目標 (SDGs) に「陸の豊かさを守る」ことが挙げられるように

栄養塩類集積や炭素貯留機能など, 土壌管理が環境に及ぼす影響を多角的に評価する必要性が高まっている。

しかしながら 2008年に起きた国際的な肥料価格の高騰や, 高齢化による担い手不足など, 土づくりを取り巻く環境は良好とはいえない。全国的にも水田の単位面積あたりの施用量は NPK 全ての要素で過去 10 年間減少傾向にある (米生産費調査より)。

宮城県は大豆の栽培面積が北海道に次ぐ全国 2 位であること, 東日本大震災のあと沿岸部を中心に農地整備や一経営体あたりの耕作面積の大規模化が進んでいるなど栽培環境の変化が大きい。

本報告では土壌管理による土壌に与える変化・影響を明らかにするため, 温室効果ガス・土壌炭素調査事業 (2008~2011年), 及び農地土壌炭素等基礎調査事業 (2012年~現在) の定点調査から, 県内水

田の作土について一般的な土壌分析値及び栽培管理に関するアンケート調査をとりまとめ短期的な推移とし、若鳴らによって報告されている土壌モニタリング調査までの結果を含め40年間の長期的な推移とし報告する。

調査及び分析方法

1. 調査地点の選定

1997年まで行われていた土壌環境基礎調査ではおおよそ1,000haに1地点の割合で111点の重要定点が設けられた。また重要定点の近傍に各4点ずつ計444点の一般定点、合計で555地点(うち水田375地点)が設置された。1999年からの土壌機能実態モニタリング調査では、土壌環境基礎調査の重要定点を中心に113地点(うち水田90地点)を選定した。2008年からの温室効果ガス・土壌炭素調査事業では、国際的なインベントリ報告に必要な土壌表面から30cmまでの炭素蓄積量を把握すること下層のデータも収集するため70地点(うち水田58地点)を選定し、2012年からの農地土壌炭素調査事業でも同様にデータ収集を行った。2014年からは県北・県南に分けて2年1巡で調査を行い県北は大崎、栗原、登米地域とし、県南は大河原、亶理、仙台、美里、石巻地域とした。離農や転用などによって調査の継続ができない場合は、可能な限り同じ管内で近い土壌タイプの農地を選定した。

なお、温室効果ガス・土壌炭素調査事業と農地土壌炭素等基礎調査事業については、便宜上併せて「土壌炭素調査」と表記する。

また、土壌機能実態モニタリング調査以前は4年

表1 各調査の期間と調査地点数

調査名	巡目	期間	調査地点数 (水田調査点数)	図表中の略称	
				短期的	長期的
土壌環境基礎調査	1	1979～1982年	555(375)		K1
	2	1984～1987年	555(375)		K2
	3	1989～1992年	555(375)		K3
	4	1994～1997年	555(375)		K4
土壌機能実態モニタリング調査	1	1999～2002年	113(90)		M1
	2	2004～2007年	113(90)		M2
温室効果ガス・土壌炭素調査事業	1	2008年	70(58)	t1	
	2	2009年	80(63)	t2	T1
	3	2010年	70(53)	t3	
	4	2011年	64(45)	t4	
	5	2012年	60(45)	t5	
農地土壌炭素等調査事業	6	2013年	60(44)	t6	T2
	7	2014～2015年	58(42)	t7	
	8	2016～2017年	58(43)	t8	T3
	9	2018～2019年	58(43)	t9	

で一巡し、5年目に取りまとめというサイクルで調査を行っていたが、土壌炭素調査以降は1年一巡または2年一巡となっている。高い頻度で調査を行っている反面、モニタリング調査以前との推移を同一に並べるのは適切でないと考えたため、1巡毎の分析値をt1, t2, …とアルファベットの小文字表記に、4カ年の平均値をT1, T2, …と大文字で表記し、それぞれ短期的、長期的な推移としてまとめた(表1)。調査地点の土壌タイプはグライ低地土、灰色低地土の割合が多い(表2)。

表2 調査地点の土壌タイプ(水田)

図中の略称	M2	t5	t9
黒泥土	6	5	6
黒ボク土	5	4	4
グライ低地土	40	17	16
灰色低地土	31	12	10
褐色低地土	7	6	6
黄色土	1	1	1
計	90	45	43

2. 堆きゅう肥および土壌改良資材の施用、栽培管理について

調査対象農地における稲わらや堆きゅう肥、土壌改良資材について投入量や投入時期等の管理方法について、農家へのアンケート調査を行った。

3. 土壌化学性について

土壌の採取法については土壌炭素調査事業のとりまとめ機関である農研機構農業環境変動研究センター(現農業環境変動研究部門)が示した調査マニュアルを基に行った。農地内の大きなかく乱のない箇所40cm程度の土壌断面を作成し、その周囲で作

土を3点採取，混合，風乾，粉碎，2mmに篩別して分析に供試した。分析方法は以下に示す。

- 1) pH(H₂O)：ガラス電極法（風乾土：水=1：2.5）
- 2) 有機物含量：乾式燃焼法（CNコーダー）による全炭素の値に係数（1.724）を乗じた
- 3) 全窒素：乾式燃焼法（CNコーダー）
- 4) 可給態窒素：絶乾土水振とう抽出有機態炭素量による水田風乾土可給態窒素の迅速評価（東ら⁴⁾，2015）及びデジタル画像解析を組み合わせた推定法（阿部ら⁵⁾，2018）によって測定した。
- 5) 可給態リン酸：Truoug法によって得られた抽出液をオートアナライザーで測定した。
- 6) 可給態ケイ酸：リン酸緩衝液抽出液をオートアナライザーで測定した。
- 7) CEC：簡易測定法（普及に移す技術第73号）の抽出液の塩化アンモニウムをオートアナライザーで測定した。
- 8) 交換性塩基類：CEC抽出で得た酢安抽出液から交換性石灰，交換性苦土及び交換性カリを原子吸光分光光度計で測定した。

結果と考察

1. 有機物及び各種資材別の施用割合の短期的・長期的推移について

稲わらの施用割合に関しては短期的に土壤炭素調査だけをみると，大きな変化はなく（図1），土壤環境基礎調査から長期的にみた場合，50%台まで上昇した（図2）。しかしながら国産稲わらは畜産業からの需要が高いことも影響してか，一部で持ち出しが続いている農地があった。農地へ有機物の還元がされないまま転作が続いた場合，地力が維持できないことが問題視されているため（住田ら，2005）今後も継続的に注視する必要がある。

堆きゅう肥の施用割合は土壤炭素調査の5巡目までは50%程度で推移し，6巡目以降は40%程度とや

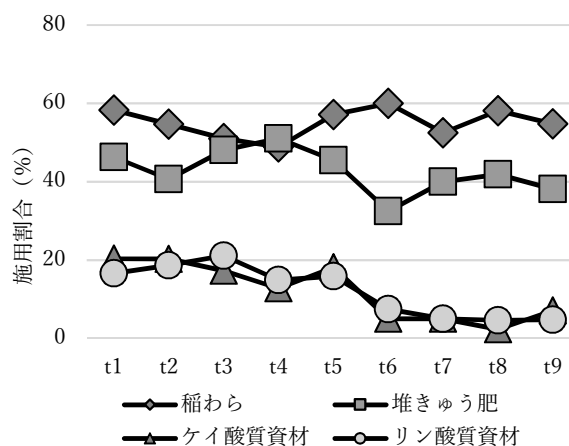


図1. 資材別の施用割合の短期的な推移

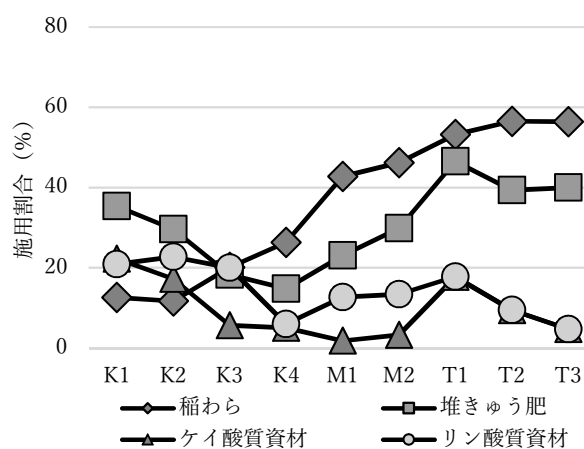


図2. 資材別の施用割合の長期的な推移

や減少傾向がみられた（図1）。長期的にみると土壤環境基礎調査では低下傾向，土壤機能実態モニタリング調査では増加傾向，その後の土壤炭素調査ではほぼ横ばいだった（図2）。堆きゅう肥の施用で特徴的なのは地域差がみられることで，地域別にみると9巡目(t9)の県北で52%，県南で24%と差が大きかった。施用されている資材は牛ふん堆肥が最も多く，平均施用量は1,100kg/10a程度だった（表3）。このほかには豚ふん堆肥，鶏ふん堆肥，魚肥，おがくず堆肥の施用事例がみられた。

ケイ酸質資材施用割合は土壤炭素調査6巡目(t6)を行った2013年頃から顕著に減少しており，リン酸質資材も同様であった（図1）。長期的にみると土壤機

表3 各種堆きゅう肥の施用農家割合と平均施用量

期間	M2		t5		t9	
	施用割合 %	平均施用量 kg/10a	施用割合 %	平均施用量 kg/10a	施用割合 %	平均施用量 kg/10a
種類						
牛ふん堆肥	97.1	1,179	85.0	1,325	87.5	1,115
豚ふん堆肥	2.9	500	5.0	900	0.0	0
牛ふん・豚ふん以外の堆肥	0.0	0	10.0	83	12.5	125

能実態モニタリング調査から土壤炭素調査になった際に高くなっているが、調査対象の入れ替りによる一時的なものと考えられる(図2)。リン酸の肥料価格については2008年に国際価格が高騰しているが、減少傾向が顕著になったのは2013年頃とずれがあり、可能性として高齢化や大規模化による省力傾向が影響していることが考えられる。

栽培品目について2019年から過去12ヶ年をみると、43地点のうち29地点が水稻連作であり、転作は4地点が1回、9地点が3~5回だった。残り1地点は8回の転作が行われていた。

2. 土壤化学性について

1) pH (H₂O)

作土の平均値は短期的にはpH5.6~5.9で推移し、地力増進法の改善目標6.0~6.5にわずかに至らなかった(図3)。土壤タイプ毎にみると、グライ土でやや低く、灰色低地土で高かった。

長期的な推移ではやや上昇傾向がみられ、またT1以降は土壤タイプごとの差が大きくなった(図4)。降水量の多い我が国では一般的に資材施用がなければ塩基類の溶脱が進み、土壤の酸性化が進むとされる。上昇傾向の要因として、本調査では石灰質資材

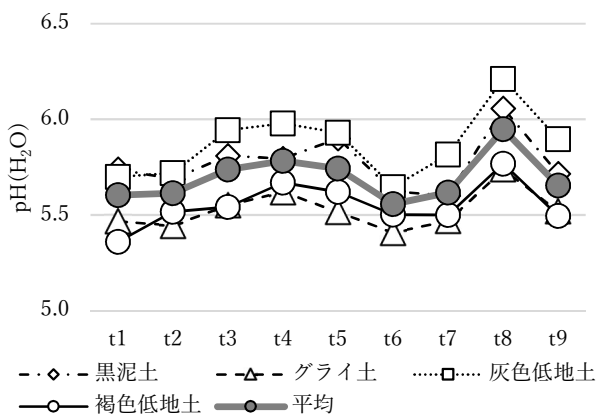


図3. 土壤pH (H₂O)の短期的な推移

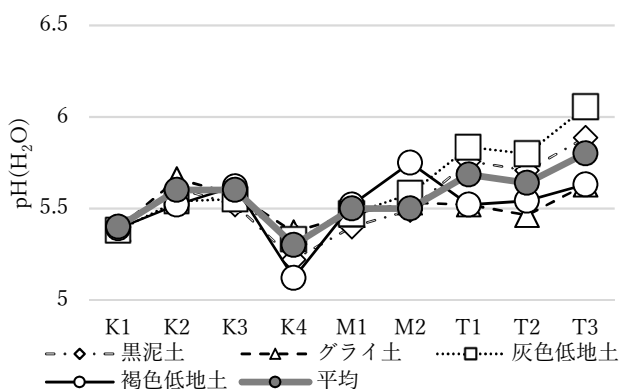


図4. 土壤pH (H₂O)の長期的な推移

を施用されている地点はごくまれだったが、ダイズ栽培時に施用した石灰質資材がアンケートへ記載されなかった可能性が考えられる。今回の上昇傾向が一時的なものか、推移を見ていく必要がある。

2) 土壤有機物含量・土壤窒素含量

作土の土壤有機物含量の平均は短期的、長期的ともに微増傾向にあった(図5, 図6)。黒泥土などが平均の数値を押し上げているが、長期的にみると褐色低地土を除いて増加傾向にある。

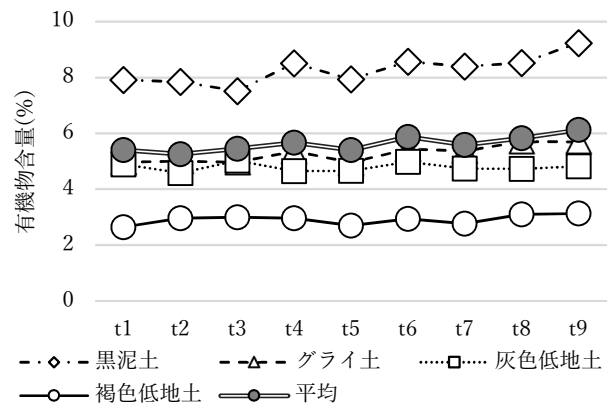


図5. 土壤有機物含量の短期的な推移

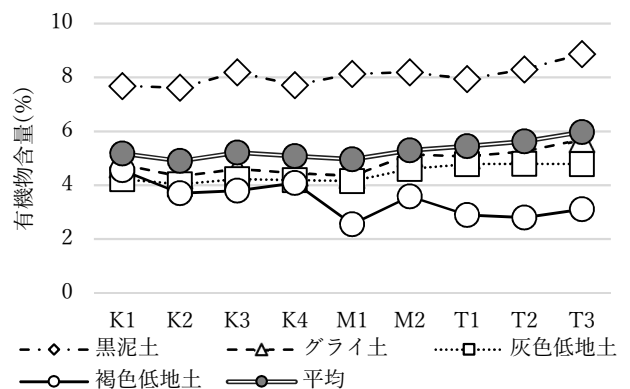


図6. 土壤有機物含量の長期的な推移

しかし、地力増進法の改善目標である乾土100g当たりの土壤有機物含量2gを下回る地点が土壤炭素調査の9巡目で褐色低地土2地点、灰色低地土1地点存在した。

土壤有機物含量2gは満たしているものの、グライ土1地点で減少傾向が顕著で、可給態窒素含量も2008年からほぼ半減していた(図7)。要因として①転作頻度が高く(12ヶ年中8回)、有機物の分解が進んだ、②堆きゅう肥施用や稲わら還元といった栽培管理がとられていなかったことが挙げられる。地力を維持・増進するには有機物の施用等適切な栽培管理が必要なことを示すケースである。なお転作品目の内訳はコムギ4回、ダイズ3回、バレイショ1

回であった。

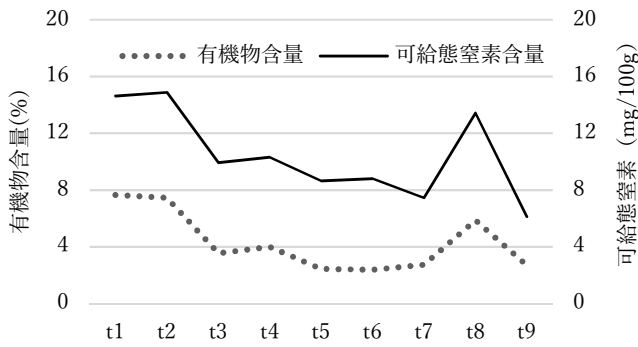


図7. 転作頻度の高い水田における地力の推移

土壌窒素含量についてはほぼ横ばいで、土壌タイプ毎の傾向も同様であった(図8, 図9)。

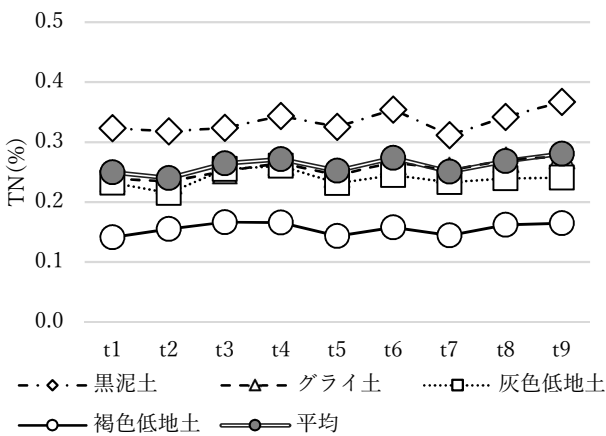


図8. 土壌窒素の短期的な推移

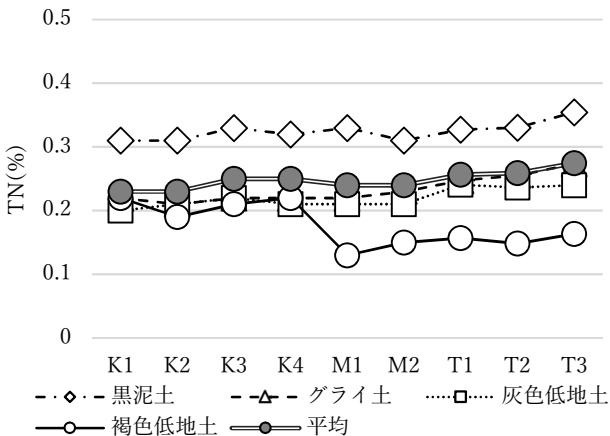


図9. 土壌窒素の長期的な推移

3) 可給態窒素

可給態窒素は、湛水保温静置法で行うのが一般的であるが、土壌炭素調査では分析項目から外れ、未調査であったことから、2008年以降の風乾土サンプルを2019年にまとめて分析した。

全体の平均は地力増進法の改善目標 8~20mg/100g を満たすものの、やや低下傾向にあり、特に黒泥土で顕著である(図10, 図11)。

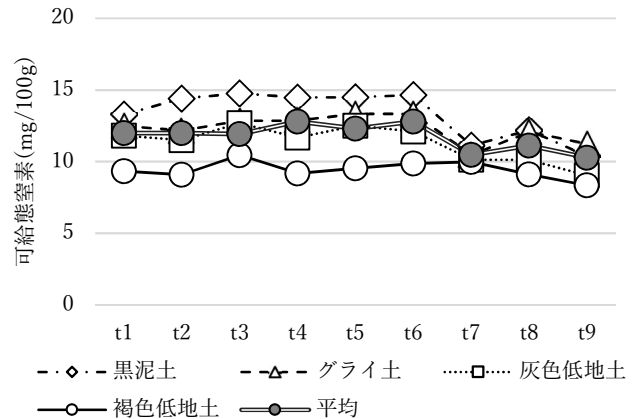


図10. 可給態窒素の短期的な推移

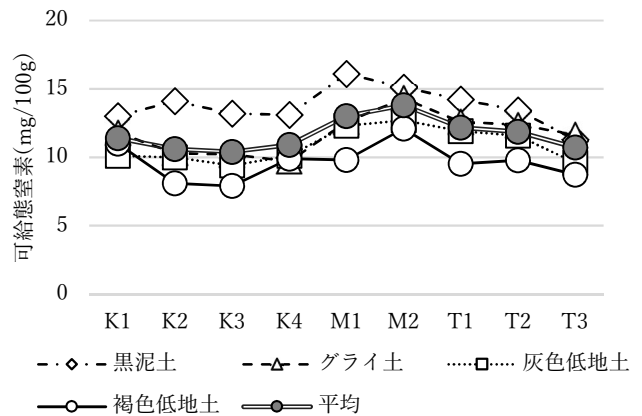


図11. 可給態窒素含量の長期的な推移

可給態窒素含量を4段階に分け、段階別の割合をみると、16~20mg/100gの比較的高い地点が減少し、目標を満たさない8mg/100g以下の地点が7巡目以降は2割近くになっている(図12)。土壌有機物含量は微増、土壌窒素含量はほぼ横ばい傾向だったが可給態窒素含量の推移からは地力が緩やかに低下傾向にあることがうかがえる。

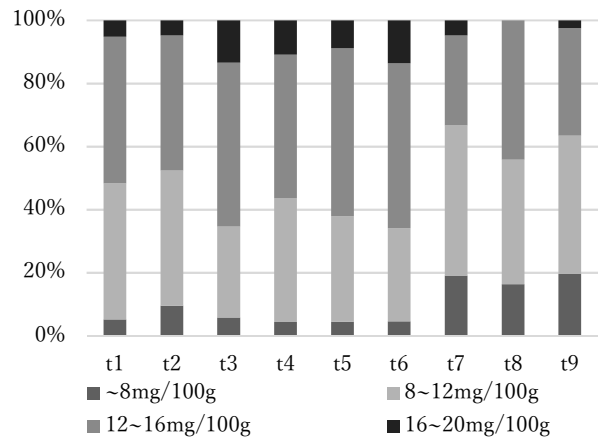


図12. 可給態窒素の段階別の地点数割合

4) 可給態リン酸

可給態リン酸に関しては土壤炭素調査ではほぼ横ばいで、土壤機能実態モニタリング調査と近い値だった(図13, 図14)。土壤タイプ別の違いはあまりみられなかった。

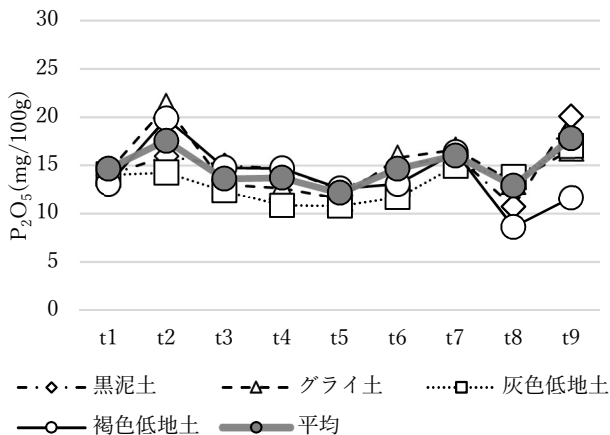


図13. 可給態リン酸の短期的な推移

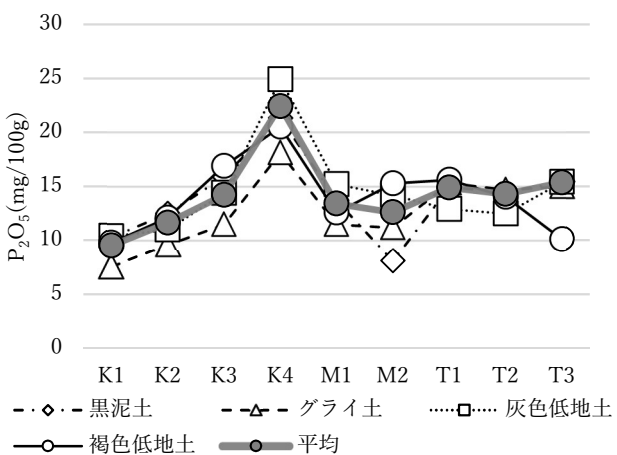


図14. 可給態リン酸の長期的な推移

段階別にみるとリン酸質資材の施用が必要な可給態リン酸含量 6mg/100g 以下地点が2割程度存在した(普及に移す技術第90号参考資料)(図15)。一方で無リン酸栽培が可能な 30mg/100g 以上の地点も存在した。9巡目(t9)ではリン酸無施用栽培が可能な地点が7カ所あり、牛ふん堆肥や豚ふん堆肥が継続的に施用されていた。更にこの7地点のうち3地点では交換性カリも高く、リン酸・カリ無施用栽培が可能だった(図16, 図17)。

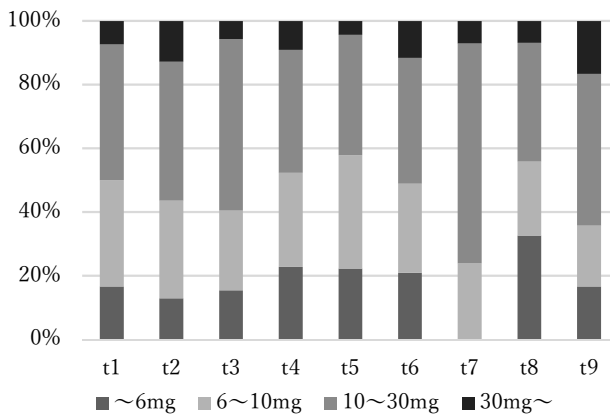


図15. 可給態リン酸の段階別の地点数割合

5) 可給態ケイ酸

土壤環境基礎調査では酢酸緩衝液抽出法を用い、土壤機能実態モニタリング調査では湛水保温静置法、土壤炭素調査ではリン酸緩衝液抽出法を用いたため直接比較はできないが、土壤炭素調査では低下傾向だった(図16, 図17)

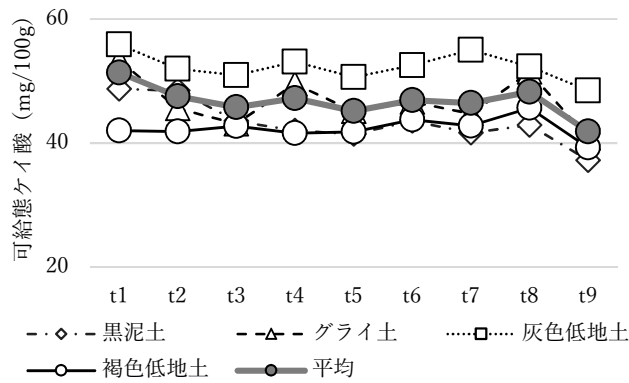


図16. 可給態ケイ酸の短期的な推移

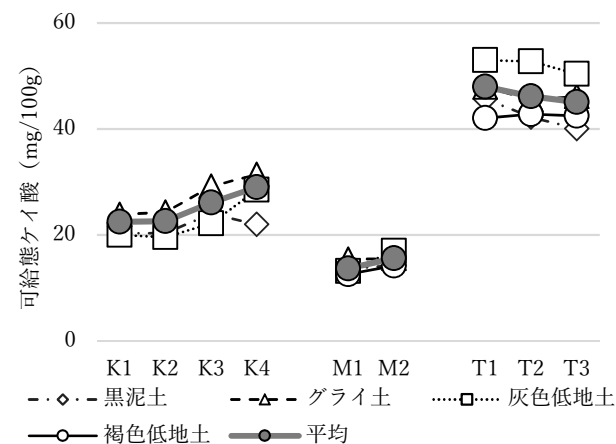


図17. 可給態ケイ酸の長期的な推移

(土壤環境基礎調査では酢酸緩衝液抽出法, モニタリング調査では湛水保温静置法, 土壤炭素調査ではリン酸緩衝液抽出法を用いた)

成熟期の茎葉ケイ酸含有率が11%まではケイ酸資材の施用効果が高い(今泉ら⁶⁾, 1958)とされ, 11%となる可給態ケイ酸量はリン酸緩衝液抽出法では30mg/100gとされる(佐藤⁷⁾, 2002)。土壌炭素調査ではこの30mg/100gを満たさない地点が1割程度だった(図18)。若嶋らの前報²⁾ではケイ酸含有率の目標値を11%にした場合の塩化カルシウム上澄液法⁸⁾による目標値40mg/100gを満たさない地点が29%だったことを考慮すると良好な結果のようにみえるが, 60mg/100g以上の高い地点の割合が低下傾向にあることがわかる。近年ケイ酸質資材の施用割合が低下傾向にある影響が徐々に現れていると考えられる。

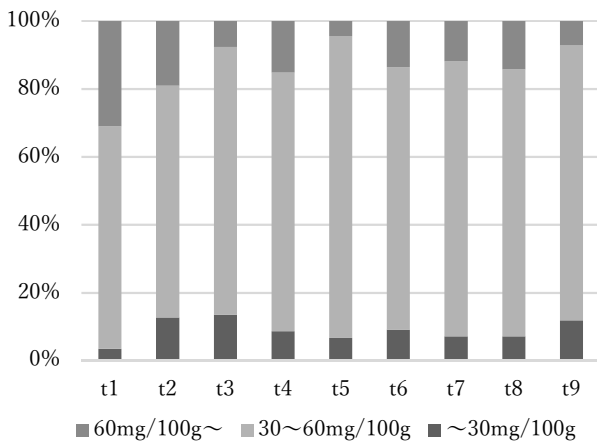


図18. 可給態ケイ酸の段階別の地点数割合

6) CEC (陽イオン交換容量)

黒泥土で高く, グライ土や灰色低地土は平均的な値だった(図19, 図20)。褐色低地土は地力増進法の改善目標12meq/100g乾土はあるものの長期的には低下傾向にあった。

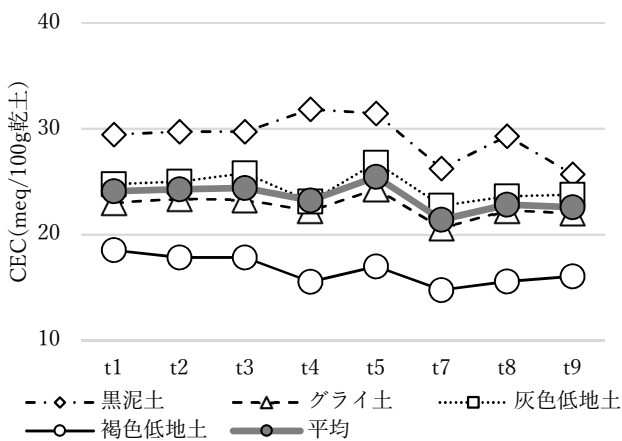


図19. 陽イオン交換容量の短期的な推移

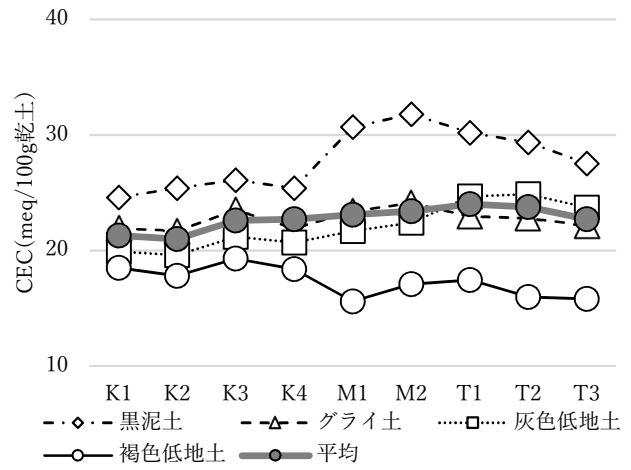


図20. 陽イオン交換容量の長期的な推移

7) 交換性塩基類

交換性石灰に関しては土壌炭素調査の期間中ほぼ横ばいで推移していたが, 長期的には緩やかに増加傾向だった(図21, 図22)。とくに調査地点の多くを占める灰色低地土で顕著だった。対照的に長期的には褐色低地土では減少傾向だった。

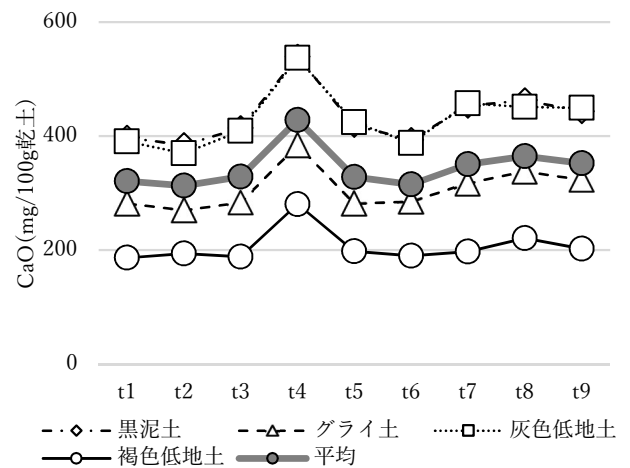


図21. 交換性石灰の短期的な推移

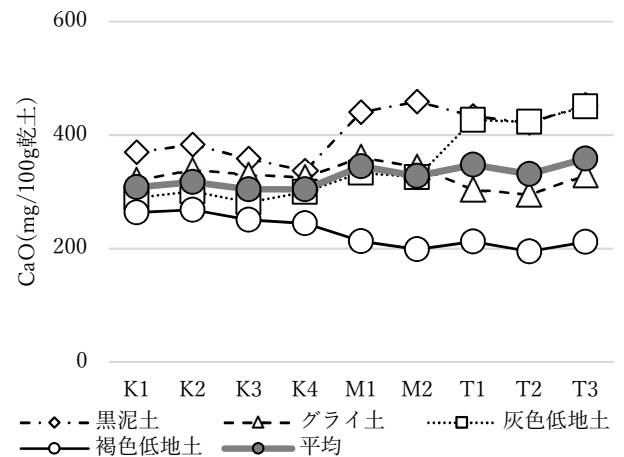


図22. 交換性石灰の長期的な推移

交換性苦土に関しては黒泥土と灰色低地土で高く、褐色低地土で低い傾向は交換性石灰と同様だが、短期的にも長期的にも横ばい傾向だった(図23, 図24)。

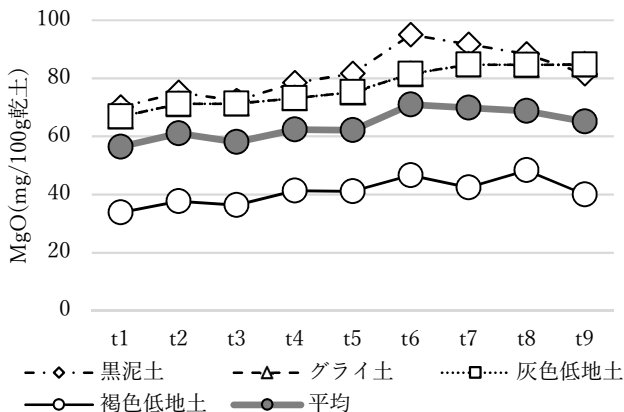


図23. 交換性苦土の短期的な推移

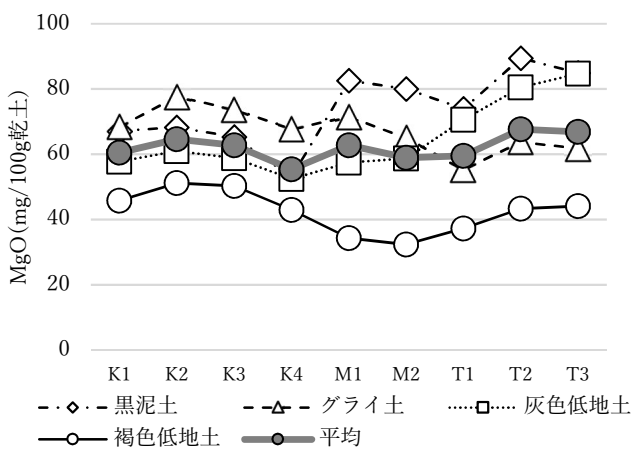


図24. 交換性苦土の長期的な推移

交換性カリに関しては土壌炭素調査では緩やかに増加傾向で、長期的にも土壌機能実態モニタリング調査での高い値が維持されていた(図25, 図26)。

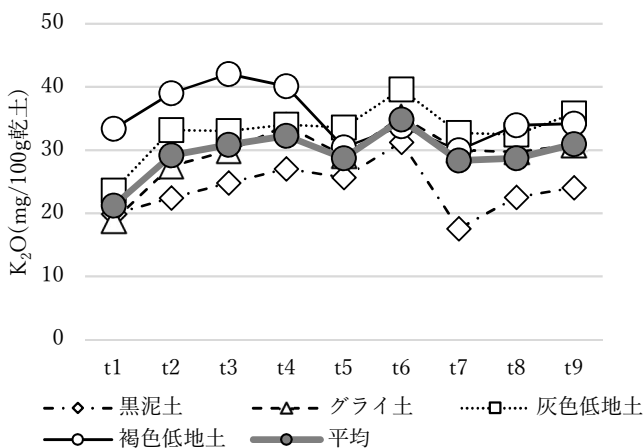


図25. 交換性カリの短期的な推移

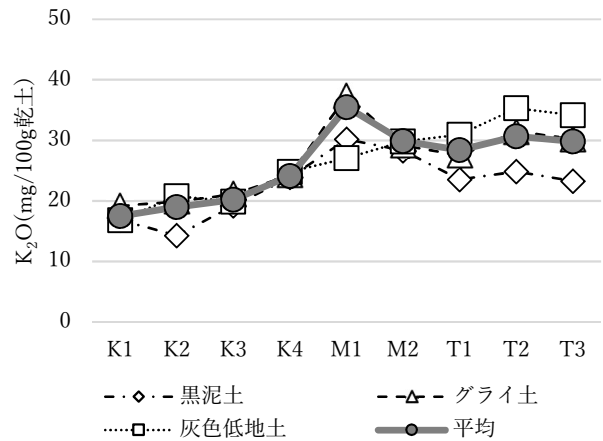


図26. 交換性カリの長期的な推移

若嶋ら²⁾は土壌機能実態モニタリング調査2巡目で40mg/100g以上のカリ無施用栽培が可能な地点を18%と報告しており、本調査でも調査年次による差はあるものの2割前後の地点でカリ無施用栽培が可能と判断される(普及に移す技術第90号)(図27)。

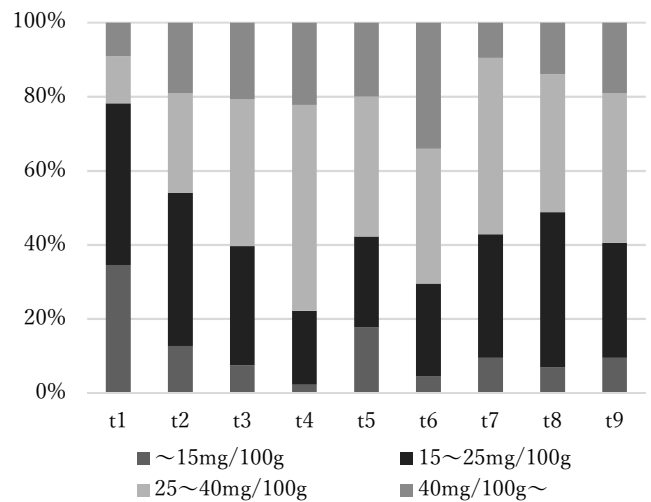


図27. 交換性カリの段階別の地点数割合

結論

宮城県内の水田土壌における資材の施用割合は堆きゅう肥で緩やかに減少傾向にあった。稲わらはほぼ横ばいだったが一部の農地で持ち出しが続いていた。リン酸質資材とケイ酸質資材の施用割合は2013年頃から減少傾向にあった。

調査地点全体としての土壌有機物含量や土壌窒素含量の変動は少ないが、可給態窒素含量が比較的低い地点が増加傾向にあり、このうち転作頻度の高い地点では12年間でほぼ半減していた。可給態ケイ酸は比較的高い地点が減少傾向だった。可給態リン酸に関しては牛ふん堆肥などを継続的に施用している

地点ではリン酸無施用栽培が可能な水準の地点もあったが、リン酸質資材での土づくりが必要な地点が全体の2割程度存在した。交換性塩基類については増加傾向にあり、特に交換性カリで顕著だった。

謝 辞

本調査の進行にあたり東日本大震災から復旧した農地で営農を再開した方や、親子2代にわたって御協力いただいている方など、時代の推移とともに多様な背景を持ちながら定点調査の趣旨に御理解をいただいた農業者の皆様に深い謝意を表す。

また本報告は40年に及ぶ現地調査・分析を担当した研究職員の尽力で膨大なデータが累積したものであり、継続的な調査に謝意を表すものである。

引用文献

- 1) 岡本栄治・熊谷千冬・畑中篤・關口道. 1999. 宮城県の農耕地土壌の実態と変化－土壌環境基礎調査.
- 2) 若嶋淳子・瀧典明・高橋浩明・熊谷千冬・畑中篤・關口道. 2010. 宮城県内水田土壌の変化と実態. 宮城県古川農業試験場報告. 8. p15-22

- 3) 住田弘一・加藤直人・西田瑞彦. 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. 東北農研センター報. 103. p39-52

- 4) 東英男・上菌一郎・野原茂樹・高橋茂・加藤直人. 2015. 日本の水田土壌の湛水培養無機化窒素量の特徴とその簡易迅速評価法の開発 第2報 絶乾土水振とう抽出有機態炭素量による水田風乾土可給態窒素の迅速評価. 土肥誌. 86. p188-197

- 5) 阿部倫則・佐々木次郎・金澤健二・駒田充生・高橋茂. 2018. デジタル画像解析によるCOD簡易比色キット測定値の定量とそれを用いた絶乾土水振とう抽出法による水田土壌可給態窒素含量の推定. 土肥誌. 89. p317-320

- 6) 今泉吉郎・吉田昌一. 1958. 水田土壌の珪酸供給力に関する研究. 農技研報B8 261-304

- 7) 佐藤之信. 2002. 水田におけるケイ酸施用基準の策定. 山形県農試生産環境に関する試験成績書. 11-12

- 8) 普及に移す技術大80号参考資料「上澄培養法における水田土壌可給態ケイ酸の評価」

Changes in paddy soil chemistry in Miyagi Prefecture

Ayako ISHIKAWA, Hideyuki SHIMA, Yukitake YOKOSHIMA, Takeaki MIYAMOTO,
Yukie KANAZAWA, Hideki WASHIO, Tomoko OYAMA, Atsuko WAKASHIMA and Noriaki TAKI

Summary

In Miyagi Prefecture, the physicochemical properties of agricultural land soil in the analysis have been evaluated in a project subsidized by Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries. In this paper, we summarize the results of paddy soil analysis from 2008 to 2019. The application rate of synthetic materials in paddy soil in Miyagi Prefecture was gradually decreasing owing to the use of compost. The rate of rice straw use did not change much, but rice straw continued to be taken out in some fields. The application rate of phosphoric acid and siliceous materials has decreased significantly since around 2013.

Although the fluctuations in soil organic matter and total nitrogen content found in the survey are generally small, the number of areas where the available nitrogen content is relatively low tends to increase, and among these areas, the number of areas with a high frequency of cropping rotation was almost halved over a period of 12 years. The content of available silicic acid tended to decrease at a relatively high rates. Regarding available phosphoric acid, there were some areas where phosphorus-free cultivation was possible when cow manure compost was continuously applied, but 20% of these areas required soil preparation with phosphoric acid materials. However, the percentage of phosphoric acid materials used was small. The number of exchanged bases was on the increase, especially in exchanged potash.