

緑肥作物の栽培と利用

はじめに

国連気候変動枠組条約第21回締約国会議(Conference of Parties: COP21)が2015年11月から12月にかけて、2週間の会期でパリで開催された。地球温暖化に関する各国の対応は様々であるが、2020年以降の温暖化対策に関する国際的な枠組みは、「パリ協定 (The Paris Agreement)」として採択され、2016年11月4日に発効した。その後の米国大統領選挙の影響もあり、先行きがやや不透明となっているが、産業革命以降の平均気温の上昇を2℃未満に抑えるために、各国はどのような実効性のある対策をとることができるのであろうか。小稿に関わる部分では、農耕地における有機物付与のための緑肥利用の立場からも、カーボンフットプリント(炭素の足跡)を把握し、メタンや亜酸化窒素などの温室効果ガスの排出量を定量的に評価し、関連産業を含めた温暖化防止に向けての実装を考える必要があると、著者もその思いを新たにしているところである。

本誌でもこれまでに紹介されてきたように、イネ科のエンバクやソルガム、マメ科のヘアリーベッチやセスバニアなど多くの植物種が緑肥作物として利用されている。緑肥の利用によって、1) 残留養分の回収と再利用、2) 窒素供給やリンの可溶化、3) 土壌侵食の防止、4) 土壌団粒化の促進、5) 有害

土壌線虫の密度低減、6) 雑草抑制、7) 土壌微生物の活性化、そして、8) 炭素貯留量の増大など、多様な効果が期待される。一方で、緑肥は未熟な有機物であるので、その機能を十分に理解せずにすき込み、後作物を栽培すると、カビなどの糸状菌の著しい増加による病害発生の助長や、分解の過程で生じる生育阻害物質などの放出による出芽障害などが生じてしまう。また、易分解性の緑肥の施用は、温暖化係数がCO₂の310倍と言われる亜酸化窒素ガス(N₂O)を土壌から発生させ、水田のような嫌気的な土壌では、同じく温室効果ガス的一种であるメタン(CH₄)が発生する。したがって、緑肥として導入する作物の種類や生育時期別の特性を十分に理解した上で、短期的あるいは中長期的に、どのような農耕地として土壌改良をしていきたいのか、またどのような作物生産体系を構築したいのかといった点をしっかりと意識して、緑肥の利用を考えるべきである。

小稿では、各地で導入されているいくつかの緑肥作物について概説し、上述の多様な機能の中でも、特に土壌養分の補完に関する量的な評価について、著者らのこれまでの試験を例に紹介することとする。なお、本年5月に「作物栽培大系第8巻-飼料・緑肥作物の栽培と利用」¹⁾を上梓した。あわせて読者の参考になれば幸甚である。

第65巻第3号 (通巻671号)

牧草と園芸/平成29年(2017) 5月 初夏号 目次

□ 府県向け トウモロコシ遅播き・二期作用品種のご紹介.....	表 2
□ 緑肥作物の栽培と利用.....	[大門 弘幸] 1
□ 長野県における緑肥作物の活用事例(1) —緑肥による減肥対策—	[出澤 文武] 7
□ 長野県における緑肥作物の活用事例(2) —緑肥による病虫害対策—	[石山 佳幸] 9
□ キタネグサレセンチュウと土壤病害との関わりから見た緑肥作物の利用とコムギ収穫後に利用できる品種の紹介(道内向け)	[佐久間 太] 11
□ 「夏期休閑地にクロタラリア “ネマックス” を播いて線虫害を防ごう！」	[和田美由紀] 14
□ 雪印おすすめの野菜品種紹介.....	[佐野まどか] 18
□ 夏場の乳牛の飼養管理について.....	[高橋 強] 22
□ 屋上緑化・壁面緑化について.....	[熊谷 雅人] 27
□ 生育～収穫期 灌注用機能性液肥 根真人232.....	29
□ 春から夏に播ける緑肥作物品種のご紹介.....	30
□ 春から秋に播ける緑肥作物品種のご紹介.....	31
□ 雪印の緑肥作物特性表 (2017) 道内用・都府県用	32
□ 雪印の緑肥作物特性表 (2017) 都府県用	表 3
□ 牧草・飼料作物サイレージの乳酸菌発酵促進に サイマスター・LP AC	表 4



マメ科緑肥作物クロタラリア「ネマックス」

1. 夏作緑肥作物

限られた生育期間にバイオマスを確保できる夏作物の中でも、C₄光合成経路をもつソルガムやギニアグラスは、夏場の高い日射量を利用して旺盛な乾物生産力を発揮する。C₄光合成経路の詳述は専門書に譲るが、CO₂の糖への取り込みに無駄が少なく、水利用にも優れていることが特徴である²⁾。それらをすき込めば、有機物のすき込み量としては当然多くなる。一方、C₄植物ではないが、熱帯原産のマメ科のセスバニアやクロタラリアは、深根性で養分吸収量も多く、根粒菌との共生窒素固定能力があることから夏場に旺盛に生育し、すき込み有機物量も多くなる。作付体系や播種時期にもよるが、ともに60~90日程度の生育期間を確保してからすき込む。これらのイネ科とマメ科の夏作緑肥について以下に概説する。

1) ソルガム

北東アフリカ原産の一年生草本である。サイレージや青刈り利用される飼料作物であるが、緑肥としては、飼料用の子実型ソルガム (*Sorghum bicolor*) とスーダングラス (*S. sudanense*) の交雑種であるスーダン型ソルガムがしばしば用いられる。バイオエタノール用やシロップ用としても栽培される種 (スイートソルガム) もある。夏の高温、多照条件下で旺盛な生育を示し、耐湿性が高いことから、水田転換畑への導入も可能である。吸肥力が高いことから、集積塩類の除去 (クリーニング) にも利用でき、栽培後にすき込むことで回収塩類の再利用と有機物の付与に役立つ。一方、土壌がせき薄な新規造成農地などでは、肥料を与えて栽培しなければ十分に生育できないので、土壌肥沃度を理解した上で利用しなければならない。なお、トマトやナスなどの果菜類で被害が大きいサツマイモネコブセンチュウの対抗植物となる品種では、センチュウ密度の低減効果があり、耕種的防除法の一つとして利用されている。また、ナス圃場に垣根のようにソルガムが栽培されることがある。これには防風や農薬のドリフト防止の役割もあるが、ナスで問題となるアザミウマ類やアブラムシ類の天敵をナスより早期に生育するソルガムで増やし、ナスの害虫を補食させる目的もある。バンカー作物とか障壁作物と呼ばれる。

2) ギニアグラス

熱帯東アフリカ原産の植物 (*Panicum maximum*) で、多様な生態型が知られている。熱帯、亜熱帯で広く栽培される飼料作物であり、九州以北では1年

生利用、南西諸島では多年生利用される。長大型の品種は、乾物生産力に優れ、有機物補完のために緑肥として利用される。種が異なるカラードギニアグラス (*P. coloratum*) は分けつが多いが、草高が低い。耐湿性が高いので水田転換畑における緑肥に適する。ギニアグラスも上述のソルガムと同様にセンチウ対抗性がある。

上記に加えて、飼料用トウモロコシやサトウキビ収穫残渣なども緑肥利用されるが、これらのイネ科作物は、すき込み時の茎葉部の炭素率 (C/N比) が比較的高く、この値は緑肥としての分解の遅速に影響する。C/N比に加えてリグニンやフェノール化合物と窒素の比率が高いと分解が遅い。生育段階や土壌残存窒素量によってこれらの値は変化するので、後作の窒素源とするのか、あるいは中長期的な有機物資源とするのかといった、緑肥施用の目的を明確にして、すき込み資材としての特性を知った上で利用しなければならない。

3) クロタラリア

熱帯原産のマメ科1年生植物 (*Crotalaria*属) であり、草本や低木の多数の種が熱帯を中心に分布する。繊維や紙巻タバコ用の製紙原料として栽培されてきた歴史を持つ³⁾。国際イネ研究所では、水田における優良緑肥作物のスクリーニングで、*C. juncea*が選抜された。生物毒性が強いモノクロタリンを産生し、ネコブセンチュウの密度低減効果があるが、ネグサレセンチュウを増やすので注意が必要である。一方、草丈が低く、黄色い花が密生することから景観性に優れる*C. spectabilis*は、茎が中空ですき込みやすく、ネコブセンチュウとネグサレセンチュウの両者に対抗性があるが、乾物生産量は*C. juncea*よりやや劣る (写真1)。直根性であり水田転換畑の排水性の向上にも利用できるが、その機能は後述する*Sesbania*属植物の方が優れる。低温期に播種すると立ち枯れが生じるので避けたい。根粒菌



写真1 マメ科緑肥として用いられる*Crotalaria juncea* (左) と *C. spectabilis* (右)

が感染して生育の極初期からサンゴ型の無限型根粒を形成し、窒素固定を行う。

4) セ斯巴ニア

熱帯地域に20種以上が分布するマメ科で、*Sesbania cannabina*、*S. grandiflora*、*S. sesban*等がバナナやココヤシの庇陰や防風用、飼料用、間作マメ科灌木等として利用されている。セネガルの沼地に自生する*S. rostrata*が茎に茎粒（根粒）を形成し、半湿性植物であることが注目され、日本では北陸の重粘土地帯の転換畑の排水性改善や地力増強に利用できる可能性が示された。茎粒は茎表面にある皮目（不定根原基）から根粒菌（*Azorizobium caulinodans*）が感染して形成される「根粒」であるが、皮層に葉緑素を含むので緑色を呈し、「茎粒」と呼ばれる。湛水などの嫌気的な条件になると、速やかに茎と根に通气組織（スポンジ状の組織）を形成することで地下部に酸素を送り生存が可能となる（写真2）。耐塩性や重金属耐性も高い。日本では、*S. cannabina*と*S. rostrata*が市販されているが、いずれも乾物生産量が大きく、吸水機能と直根性が優れることから転換畑の過剰水分の除去に期待できる。窒素過多圃場では、根粒が形成されないので、旺盛な養水分吸水力によるクリーニング作物としても利用できる。播種密度を低くしたり、生育後期まで生育させると、茎が著しく木化してすき込みにくくなる。その場合、C/N比も高くなるが、亜熱帯地域などでは、易分解性のものと組み合わせることで、速効性養分の補完機能と土壤物理性の改善機能を併せ持たせることもできる。なお、感染する根粒菌には土壤中の不可給態リンを可溶化する能力を持つものもある⁴⁾。

上記に加えて、キマメ（*Cajanus cajan*）やムクナ（*Mucuna pruriens*）も旺盛な乾物生産を示し、緑肥として利用されるマメ科である。キマメは深根性で地下水の吸収に優れ、ムクナは雑草抑制に機能する他感作用（アレロパシー）物質を持つ。ムクナは沖縄ではフウキマメと呼ばれ、著者らも宮古島でソルガムとの混作緑肥としてコムギの前作としての試験を試みたが、その乾物生産量は極めて大きかった。なお、混作緑肥は、マメ科緑肥の窒素供給の速効性とイネ科緑肥の有機物増強機能の両面を提供できる。イネ科の窒素吸収の一部を混作マメ科が補い、マメ科の深根性とイネ科の浅根性で土壤養分の吸収範囲が拡大する可能性も考えられる。多様な緑肥作物で両科の適当な組合せを検討することが待たれる。

ラッカセイ（*Arachis hypogaea*）、ササゲ（*Vigna*

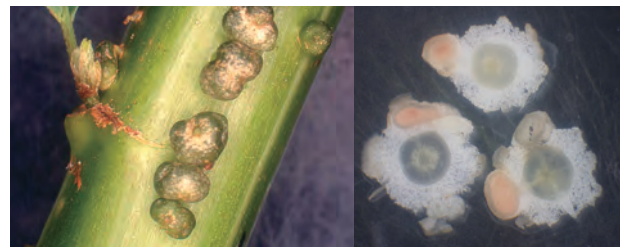


写真2 *Sesbania rostrata*の茎粒（左）と二次通气組織（右）

unguiculata）、莢取りエダマメ（*Glycine max*）などの夏作マメ類は、その収穫残渣を緑肥としてすき込むことで、窒素やリンの供給源となる。収穫、調製の方法とも関係し、農作業効率から残渣の利用は容易でない場合もあるだろうが、肥料成分の補完機能に着目したい。例えば、ラッカセイ残渣のコムギ畑へのすき込み試験では、3-4 kg/10aの窒素施用に相当する貢献度が得られた⁵⁾。

以上のマメ科作物は、生育段階にもよるが、イネ科緑肥に比べてC/N比やC/P比が低い。一般にこの値がC/N比で25より、C/P比で200よりも低ければ、比較的早く分解し、後作の窒素源やリン源として速効性があると言われる。地上部がよく生育し、葉茎比が高ければC/N比は10前後、C/P比は100以下のこともあり、これらをすき込むと後作の窒素やリン源となり、早い時期に葉色が濃くなり、それは視覚的にもわかるほどである。

5) その他の夏作物の緑肥利用

夏作物では、イネ科やマメ科が利用されることが多いが、景観性が良いヒマワリ（*Helianthus annuus*）、マリーゴールド（*Tagetes patula*、*T. erecta*）、ルドベキア（*Rudbeckia hirta*）などの黄色い花を咲かせるキク科や、白や赤の花が美しいソバ（*Fagopyrum esculentum*）も導入されることがある。これらは景観性に加えて、線虫対抗性や吸肥力に優れることもあるので、その機能を理解して使い分けたい緑肥作物である。

2. 冬作緑肥作物

西南暖地では、秋季に播種し翌春にすき込むのが一般的であるが、北海道などの寒地や寒冷地で長期に積雪がある地域では、春から初夏にかけて播種し、秋季まで栽培し、翌年の主作物の作付けに利用する場合もある。したがって、夏作緑肥、冬作緑肥という分類は必ずしも妥当ではない。また、緑肥作物の単作ではなく、主作物と混作する利用方法もある。例えば、スイートコーンの条間にムギ類を混作

したり、トマトの条間にヘアリーベッチをマルチとして栽培する。ここでは、西南暖地で秋播きする代表的な緑肥作物について概説することとする。

1) ムギ類

エンバク、オオムギ、ライムギ、コムギに加えて牧草のイタリアンライグラスなどがすき込み資材としてしばしば利用される（学名省略）。気象条件にもよるが、これらの作物を緑肥として利用するには、秋季から初夏にかけて乾物生産量を多く確保するために、比較的生育期間を長く取る必要があり、そのバイオマス量によって施用効果は変わる。寒地、寒冷地、温暖地、亜熱帯それぞれにおける作付体系の中で、残留窒素の吸収、有機物補完、線虫対抗性、雑草抑制などの各機能に着目してこれらのイネ科緑肥を利用する。例えば、エンバク野生種はキタネグサレセンチュウの密度低減効果があり、秋播き性程度の高いコムギを春期にダイズやスイートコーンの条間に播種することで、出穂せずに枯れて条間の抑草効果に役立つ（写真3）。これをリビングマルチという。なお、イネ科はC/N比が高く、例えば排水性が劣る畑や水田のような還元土壌条件下では、土壌微生物との間で窒素の競争が生じて窒素飢餓が起きたり、すき込み有機物の分解の過程で生じる有機酸の放出によって後作の初期生育が悪くなるので注意が必要である。また、子実を稔実させてしまうとC/N比はさらに高い値になるので留意したい点である。

2) マメ類

クローバ類、ヘアリーベッチ、レンゲ等が、それらの窒素固定能やリン吸収能、雑草抑制効果、土壌流亡防止に着目されて利用される（学名省略）。近年、水田では良食味米の生産を目的に窒素施肥量が少なくなり、また転作作物としてダイズをはじめとする畑作物を栽培することによって、好氣的条件下で有機物の分解が進み、地力の減耗が懸念されている。田植えの時期が早まったことや窒素肥効の制御の難しさからレンゲ栽培が少なくなったと言われるが、最近は景観性などからレンゲ畑を目にすることが以前より増えた。アカクローバ、シロクローバ等のクローバ類は*Trifolium*属に分類され、約240種を含むグループであり、これらも冬作の緑肥として利用される。一年生のクリムソクローバは濃い赤色の花、短年生のアルサイククローバはピンク色の花を咲かせ、景観性が良い。コモンベッチやヘアリーベッチ（後述）は*Vicia*属に分類され、温暖地の水稲作では窒素肥料の代替に用いる生産者も増えてき

た。上述の水田の地力減耗の観点から、有機物補完にこれらの冬作マメ類を効果的に利用するために、養分動態に関する科学的知見をさらに集積しなければならない。

3) その他の冬作物の緑肥利用

アブラナ科シロガラシは硫黄含有物質を持ち、殺菌、殺虫効果を示すことから、病虫害防除に利用される。ハゼリソウは紫色の花を咲かせ、雑草抑制や土壌流亡防止に利用される。

3. 肥料の代替効果

緑肥のそれぞれの機能を理解した上で利用すべきことは、上述の通りであるが、いくつかの機能が統合されてより効果的になることは言うまでもない。小稿ではその中でも特に肥料の代替としての機能について例をあげて述べることにする。

1) ヘアリーベッチの早期刈取りによるコムギへの追肥代替効果

ヘアリーベッチは、水田の窒素源として利用されはじめているが、著者らはヘアリーベッチがムギ類の追肥窒素の代替にならないかと考え、西南暖地の水田転換畑でエンバクの条間にヘアリーベッチを播種し、その開花期に地上部を刈取ってエンバクの条間に敷設することを試みた（表1）。ヘアリーベッチ開花期には、根粒の窒素固定活性が著しく高くなり、この時期に窒素固定のエネルギーとなる茎葉部が刈取りで消失すると、光合成同化産物が絶たれた根粒は失活し、地下部は分解されていく。特に活性の高い時期の根粒は炭素源を失うことで急速に脱落、分解し、土壌中に窒素化合物を放出する。実際に刈取った茎葉部をリターバッグ法で分解程度を評価し、地下部からの窒素供給量を定量した結果、地上部からは4.7 kg/10a、刈取り後の地下部からは2.7

表1 ヘアリーベッチ開花期の刈取りが間作エンバクの乾物生産量と全窒素吸収量に及ぼす影響

処理区	乾物重 (g/m ²)	相対 収量#	全窒素 含有率 (mg/g)	全窒素 含有量 (g/m ²)	相対 収量#
エンバク単作区 (刈取り無)	970	-	8.9	8.6	-
エンバク単作区 (刈取り有)	444	0.46	9.6	4.3	0.50
ヘアリーベッチとの 間作区 (刈取り無)	560	0.58	12.2	6.8	0.79
ヘアリーベッチとの 間作区 (刈取り有)	667	0.69	10.7	7.1	0.83

#：間作区のエンバクの個体数は単作区の半数なので、間作による効果は相対収量として表し、この値が0.5より高ければ間作によってエンバクの実産量が増加したことを示す。刈取りは4月21日、調査は5月22日に行った。

kg/10aの窒素が供給されることが示された⁶⁾。同様の試験をコムギで行ったところ、茎葉部刈取り直後からコムギの葉色は急激に濃くなり、その現象はヘアリーベッチに隣接するコムギ個体で顕著であった(写真3)。一般にパン用コムギ栽培では、窒素追肥で子実タンパク含量を上げるが、著者らはヘアリーベッチの早期刈取りが、有機栽培コムギの生産に応用できるのではないかと考えている。

2) 夏作緑肥の茎葉部すき込み効果と残存地下部の効果

クロタラリアやセスバニアの茎葉部は、乾物生産量が大きいが、それを支える地下部も大きい。著者らは、両者の特性の違いに着目し、それぞれのすき込み効果をソルガムとコマツナを用いて調査した。その結果、すき込んだ窒素量やリン量に対する後作の利用率は茎葉部に比べて地下部で高かった⁷⁾。地上部には分解過程で生じる生育抑制物質があることがその要因と考えられたが、生育段階によってその程度は異なる。セスバニアでは、上述した2種で開花期が異なるので、生育段階に伴う葉茎比を見ながらすき込み時期を考える必要がある。同様に、クロタラリア属にも種による特性の違いがあるが⁸⁾、現在は上述の2種しか市販されていない。



写真3 混作の例：秋播き性の高いコムギを低温に遭遇しない時期にスイートコーンの条間に播種すると雑草が抑制できる(左)、コムギの条間にヘアリーベッチを播種し開花期に刈取ると近隣のコムギの葉色が濃くなり、子実タンパク含量が増大する(右)。

表2 ウコンとの輪作に用いたソラマメの莢実収量と収穫残渣の特性

	生体重 (g/m ²)	乾物重 (g/m ²)	全窒素 含有量 (g/m ²)	全リン 含有量 (g/m ²)	C/N比	C/N比
子実	3335	239	11.7	1.8	8.4	54
莢殻		312	6.9	1.1	18.2	112
茎葉部 (収穫残渣)	2310	446	8.5	1.4	21.9	123

子実と莢殻については、5月18、21、26日の3回の収穫合計値を示す。

3) ソラマメ収穫残渣のウコンによる利用

ヘアリーベッチについて、窒素吸収量が大きいウコンでもすき込み試験を行い、窒素は5.7 kg/10a、リンは0.84 kg/10aの供給量があった。ウコンは根茎に薬効成分クルクミンを蓄積するが、根茎収量が増加することでクルクミン収量も増加した。一方、前作にソラマメを栽培し、収穫後に茎葉部または茎葉部と地下部の両方を残渣としてすき込んだところ、後作ウコンにおいて、窒素で2.5~4.5 kg/10a、リンで1.0~1.9 kg/10aが供給されると試算された⁹⁾。ソラマメは収益性も高く、収穫後の茎葉部も緑葉が多いことから、収穫残渣の利用に一考の価値がある。なお、本試験ではソラマメの収穫指数(莢実乾物重/地上部全乾物重×100)は、55%であった(表2)。

4. 土壌微生物の機能を知る

マメ科緑肥作物の特性の一つは、根粒菌との共生窒素固定である。根粒菌はマメ科植物から光合成同化産物の供給を受けて、土壌間隙のN₂を基質にしてNH₃を産生する。イネ科とマメ科の混作緑肥利用やマメ科のマルチ利用では、この機能の良否が土壌養分の付加にとって重要となる。一方、マメ科の茎葉部が刈取られると根粒は炭素源を失って老化し、崩壊する。最初に述べたように、温室効果ガスのN₂Oは農耕地からも放出されているが、有機物が分解する過程でその放出が起きる。したがって、根に多くの根粒が形成されるマメ科緑肥作物は、一方で窒素を還元しながら、一方でN₂Oを放出することにもなる。最近、根粒菌の中には、N₂OをN₂に還元する酵素を持つものがあり、その酵素の強化菌株も作出され、温室効果ガス削減への応用が期待されている¹⁰⁾。

窒素と同様に作物の生育を制御する栄養素としてリンがある。リン鉱石の枯渇が懸念され、一方で埋蔵量の再評価もなされているが、この本質は低投入の重要性である。リン吸収を良くするアーバスキュラー菌根菌の存在を考慮したリン施用体系の構築のために、この土壌微生物のリン供給効果の定量評価は必要であり、北海道をはじめ、畑作地帯で研究が鋭意進められている¹¹⁾。

おわりに

先日、ベトナム中南部のビンディン省にあるクイ



写真4 ベトナムにおける土壌流亡防止用のラッカセイ（左）とブラジルにおける緑肥エンバク（右）

ニヨンという街を訪ねた。クイニオン大学前の公園の緑地帯には、海岸沿いの砂質土壌の流亡を防止するための被覆植物として、ラッカセイの野生種 *A. pintoii* が植えられていた（写真4）。匍匐性で雨滴防止の被覆には良いのであろう。クイニオンでは有機農業の取り組みが始まっていて、訪問した生産者圃場には、ラッカセイやササゲがスイートコーンと混作されていた。中国山東省の野菜畑では、マメ科やイネ科の緑肥が輪作体系に組み込まれ、青島市郊外のコムギ、ラッカセイ輪作圃場では、窒素固定能に着目した根粒菌の接種試験も行われている。緑色食品と称される有機農業（中国では生態農業）生産物が大型スーパーに並ぶ。ブラジル南部のパラナ州クリチバを訪ねた時には、その広大な圃場に驚かされたが、そのほとんどでコモンベッチがすき込まれ、地平線まで続く緑肥エンバクの役割を語ってくれたイタリア系移民の生産者は、この20万haのエンバクは、ダイズを作付けるための仕込みだと、意気揚々と語ってくれた（写真4）。国内に目を投げると、土が違うんだと語る宮古島のピーマン農家は、おばあ時代からサトウキビ畑にはギンネムを細断して入れてきたと言い、フマミ（黒ササゲ）やフウキマメをすき込むことで土が柔らかくなり、ピーマンは甘くなったと言う。微生物が違うと言うのだが、誰もその実態は調べきれていない。緑肥に興味をもつ多くの生産者から、土壌微生物が土づくりに重要な要素であるとしてよく耳にする。微生物バイオマスの量的評価やメタゲノム解析による微生物相の様態が明らかにされつつあるが、その様態や季節変動と作物生産との関係については、まだまだ研究の緒についたところである。一方で、土を触り、その触感で微生物が違うのだと言っても説得力がない。緑肥農業からこそ、有機物の分解、利用といった物質循環とそれに関わる土壌微生物との関係について科学的な情報を発信していく必要がある。小稿を最後までお読み頂いた方々には言わずもがなのことであろう。宮古島では、*Crotalaria juncea* がかなりの面積で作付けられていたが、これには補助金給

付の影響も大きいと思われる。換金性のない緑肥にどこまで取り組めるかは、見えない土壌微生物の調査よりもさらに難しいかもしれない。

参考文献

- 1) 大門弘幸・奥村健治編著（2017）飼料・緑肥作物の栽培と利用. 作物栽培大系第8巻. 朝倉書店, 東京.
- 2) 大門弘幸（2003）植物の光合成と物質生産. 植物生理学-分子から個体へ-（幸田・桃木編著）. 三共出版, 東京.
- 3) 大門弘幸（1999）熱帯原産マメ科植物の緑肥利用に関する研究の現状と種々の作付体系への導入の期待. 日作紀 68:337-347.
- 4) Daimon, H. *et al.* (2006) Tricalcium phosphate solubilization by root nodule bacteria of *Sesbania cannabina* and *Crotalaria juncea*. *Plant Prod. Sci.* 9:388-389.
- 5) Yano, K. *et al.* (1995) Effect of sunn hemp and peanut incorporated as green manures on growth and nitrogen uptake of the succeeding wheat. *Jpn. J. Crop Sci.* 64:115-120.
- 6) Tarui, A. *et al.* (2013) Enhancement of nitrogen uptake in oat by cutting hairy vetch grown as an associated crop. *Plant Root* 7:83-91.
- 7) Choi, B.S. *et al.* (2008) Role of belowground parts of green manure legumes, *Crotalaria spectabilis* and *Sesbania rostrata*, in N uptake by the succeeding tendergreen mustard plant. *Plant Prod. Sci.* 11:116-123.
- 8) 大門弘幸（2001）マメ科植物利用による耕地管理技術. 国際農林業協力 24:29-35.
- 9) Yamawaki, K. *et al.* (2014) Possibility of introducing winter legumes, hairy vetch and faba bean, as green manures to turmeric cropping in temperate region. *Plant Prod. Sci.* 17:173-184.
- 10) Akiyama, H. *et al.* (2016) Mitigation of soil N₂O emission by inoculation with a mixed culture of indigenous *Bradyrhizobium diazoefficiens*. *Sci. Rep.* 6:32869.
- 11) 大友量他（2015）北海道のダイズ作における輪作順序を考慮したリン酸減肥法. 土肥誌 86:549-552.