

令和元年度畜産環境シンポジウム～家畜ふん堆肥を利用した土づくり～
令和元年7月26日（金曜日）農林水産省 7階 講堂



家畜ふん堆肥による土づくり

堆肥の高度利用による 化学肥料削減技術の最前線

農研機構 九州沖縄農業研究センター
畑作研究領域 畑土壌管理グループ長
荒川 祐介

本講演で発表した内容の一部は農林水産省委託プロジェクト
「生産コストの削減に向けた有機質資材の活用技術の開発」の成果である。

現状と課題

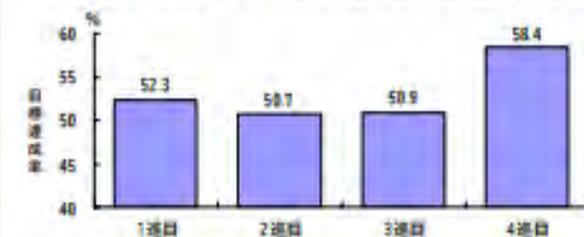
- 家畜排せつ物の堆肥化の推進
（家畜排せつ物の利用の促進を図るための基本方針 H27.3）
 - 肥料や土壌改良資材として耕地還元が基本
 - **発生量の地域的な偏在、情報不足、コストや労力**の問題等が
利用促進のネック
- 化学肥料に偏重した施肥などにより、リン酸、カリが過剰になる等、養分バランスが悪化した土壌が増加
- 肥料需要の高まりから、化学肥料の価格は高止まり

◆ 水田への堆肥の投入量の推移



出典 農林水産省「肥料制度をめぐる事情と課題」平成30年11月

○ 普通畑の非火山灰土系土壌の有機物含有量に係る改善目標達成状況



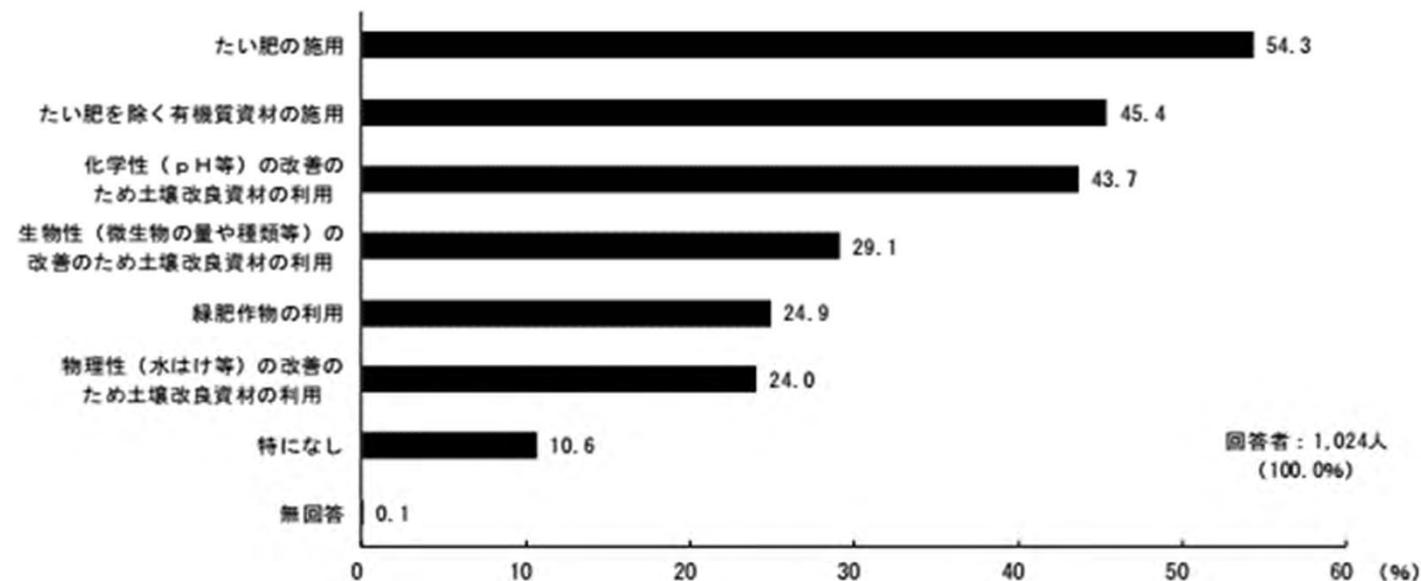
資料：土壌環境基礎調査

注：非火山灰土系土壌とは、褐色森林土、褐色低地土、黄色土、灰色低地土、灰色台地土、泥炭土、暗赤色土、赤色土、グライ土である。

出典 農林水産省「農地土壌の現状と課題」平成19年10月

耕種農家の考える土づくりの手段

図7 土づくりのため、今後どのようなことを実施したいか（複数回答）



出典：農林水産省 平成30年度 農林水産情報交流ネットワーク事業 全国調査
環境保全に配慮した農業生産に資する技術の導入実態に関する意識・意向調査

堆肥利用の意向は大きい。

土づくりの目標と目的

土壌構造の維持・形成 (固相、液相、気相の バランス改善)	養分供給力 (土壌肥沃度) の向上	レジリエンス (回復力) の向上 (Lal,1997; Seybold et al.,1999)
<ul style="list-style-type: none"> • 透水性・排水性向上 • 根への水分、酸素供給 • 耕土深の確保 • 根伸長の促進 • 易耕性の向上 	<ul style="list-style-type: none"> • 可給態養分の供給 • 養分の保持 • 肥料利用率の向上 • pHの調整 	<ul style="list-style-type: none"> • 土壌浸食抑制 • 植物病虫害への対応 • 異常気象への対応 • 干害の回避
 <p>農地の生産力を高め、農業経営の安定化を図る。</p>		

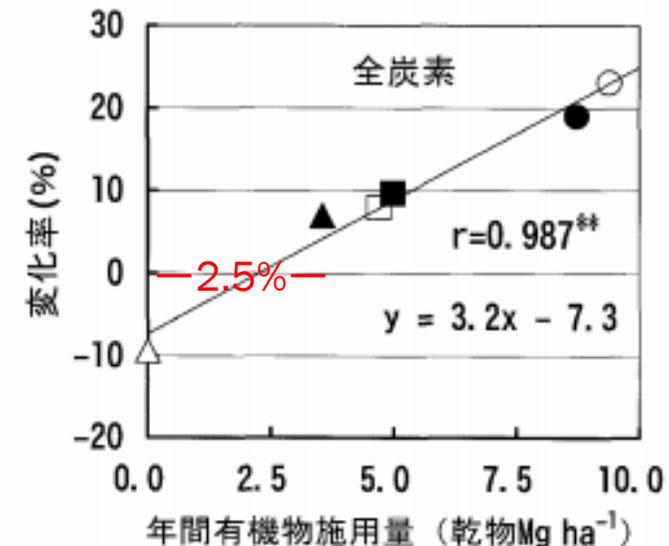
家畜ふん堆肥施用による便益



- 土壌有機物は、土壌構造、保水性、保肥力等に関わる。
- 土壌有機物は土壌粒子同士をつなぐ糊の役割を果たす。
- 多くの土壌で土壌有機物の量は2～10%程度。
- 土壌有機物の量は分解・集積の動的平衡の上にある。
- 農作業（耕起、碎土etc）は土壌有機物の分解を促進する。
- 堆肥の施用は有機物（炭素）を供給する。

事例 1 | 有機物連用の必要性

- 試験地域
 - 北海道十勝地域淡色黒ボク土
- 試験内容
 - テンサイ、ダイズ、春まき小麦、バレイシヨの4年輪作
 - 30年間にわたる収穫残さのすき込み、堆肥連用が土壌の全炭素、全窒素および物理性に及ぼす影響を調査
- 結果
 - 有機物を施用しない区では全炭素、全窒素とも10%減少
 - 乾物で5.0 Mg/ha相当の有機物の施用で両者ともに10%程度増加
 - 有機物連用による土壌の軽量化、膨軟化が示された。
 - 有機物連用による通気性や保水性の上昇がうかがえた。



有機物施用量と土壌全炭素の変化率との関係

変化率%は各区の21~30年度の平均値から残さ持出堆肥無施用区の初期値を差し引きそれを残さ持出堆肥無施用区の初期値で除した。

出典：中津・田村,2008

https://doi.org/10.20710/dojo.79.2_139

事例 2 | 堆肥連用による レジリエンスの向上

■ 試験地域

- 兵庫県細粒黄色土転換畑

■ 試験内容

- 転換畑における堆肥連用の効果についてタマネギ作を対象に11年間にわたって調査。
- おがくず入り牛ふん堆肥を供試

■ 結果

- 年間3~6 t の堆肥連用により土壌の孔隙率が増加
- 作物残さ搬出の場合、年間3 t の堆肥連用により全炭素含量が維持された。
- 堆肥 6 t 連用ではリン酸やカリが過剰集積するおそれがあった。
- タマネギ作では**堆肥連用により収量が安定化した。**

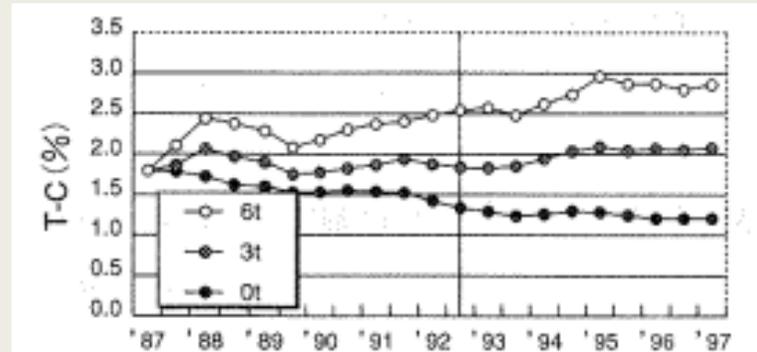


図5 跡地土壌の T-C

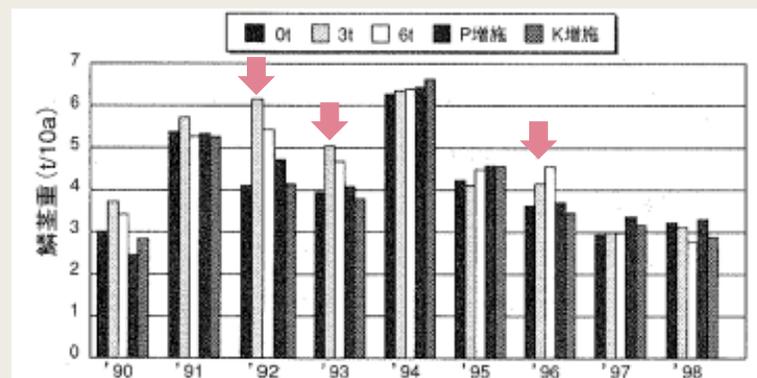


図10 タマネギの収量

出典：大塩ら（2000）有機質資材の連用による転換畑の土壌変化とタマネギの収量
兵庫農技研報 48,22-27

課題

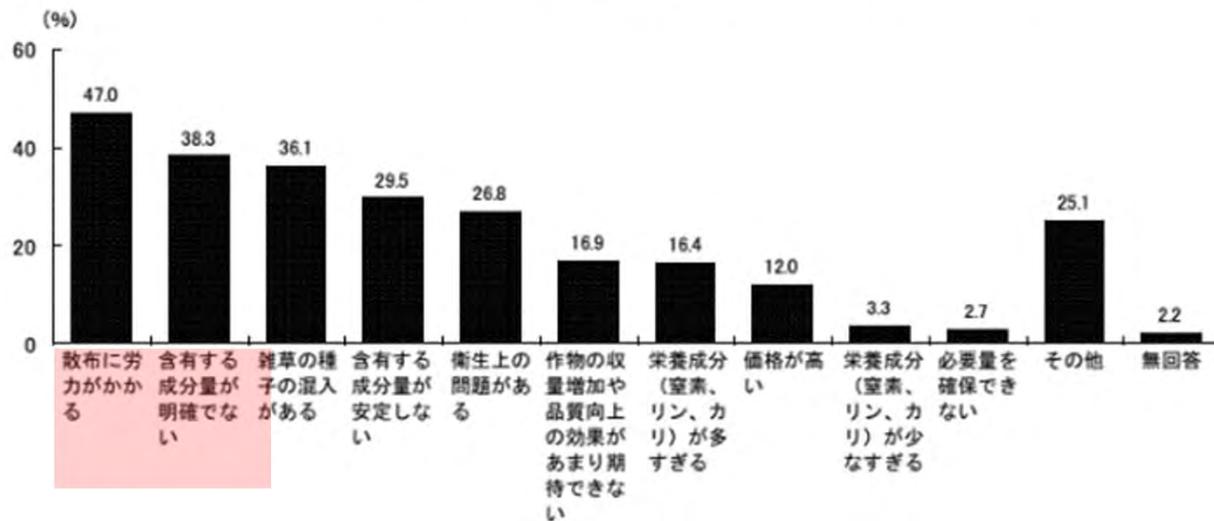
～家畜ふん堆肥による土づくりをすすめるには

- **家畜ふんに含まれる養分の過剰地域から不足地域への分配**
 - かさのある堆肥をどのように取扱いやすくするか
 - 家畜ふん堆肥の肥料原料への転換
- **土壌有機物供給効果の可視化**
 - 堆肥による土づくり効果は短期間では見えない。
 - 作物残さ/緑肥/堆肥・・・有機物供給効果の大小は？
- **SDGs的視点 = 地域の複数の課題の統合的解決**
 - 堆肥を使いやすくするだけではすすまない

家畜ふんに含まれる養分の 過剰地域から不足地域への分配

- かさのある堆肥をどのように取扱いやすくするか
- 家畜ふん堆肥の肥料原料への転換

図4-5 家畜排せつ物たい肥を利用したくない理由（複数回答）



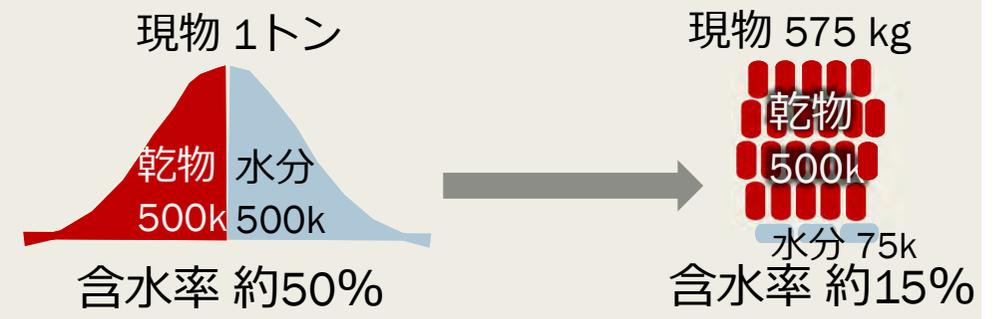
出典：農林水産省 平成16年度 農林水産情報交流ネットワーク事業
 全国アンケート調査 家畜排せつ物堆肥の利用に関する意識・意向調査

ペレット化のメリット

- **取扱い性の向上**
 - 貯蔵容積が減少し保管性が向上。
 - 運搬性にすぐれ遠距離輸送が可能。
 - 汎用管理機で機械散布可能で専用の堆肥散布機が不要。

- **品質の安定**
 - 粉碎、篩別、造粒の工程を経ているので成分が均質
 - 乾燥しているので品質保持に良好

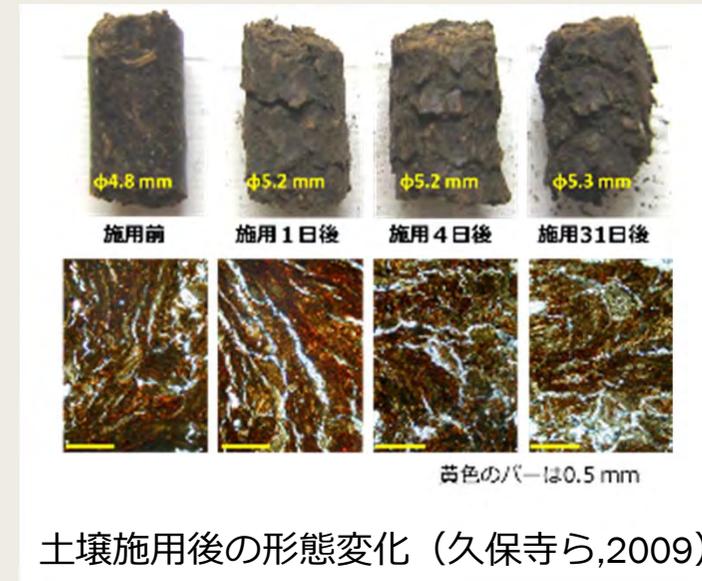
- **リン酸の肥効向上**



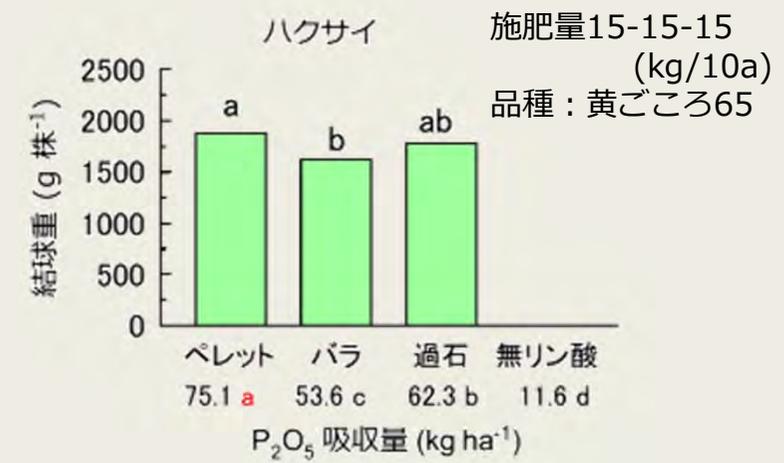
同一分量で単位面積あたりに散布する重量が減少するとともに、化学肥料の散布機で代替できる。均一に散布可能で散布時の粉塵発生も少ない。

ペレット化のメリット

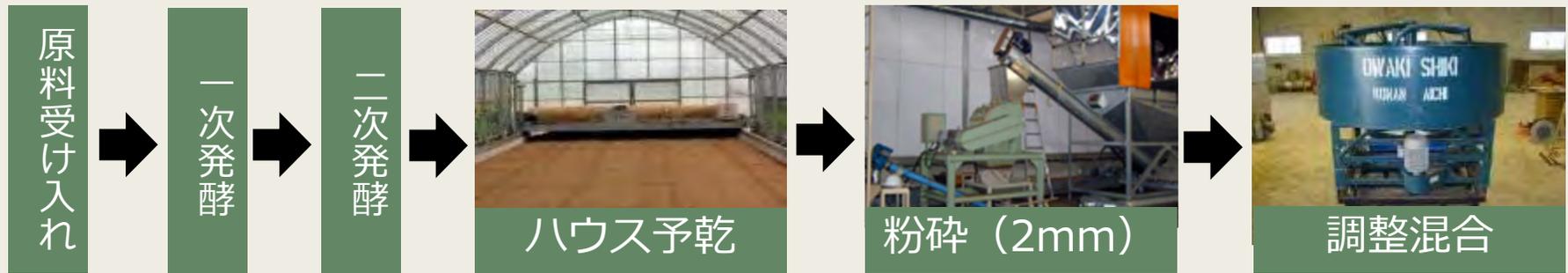
- 取扱い性の向上
- 品質の安定
- リン酸の肥効向上
 - 土壌施用後も形状を保ち、リン酸塩の溶出が遅延。
 - 土壌によるリン酸固定（不可給化）からの保護



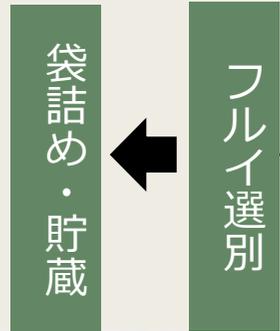
堆肥ペレット (図中矢印) にからみついたコマツナの根



家畜ふん堆肥のペレット化



造粒工程に負担をかけないように含水率を20～30%に調整し、篩別により異物を除去する。



米麦の乾燥機を流用
造粒直後は、熱を持ち蒸気が発生するため放冷を兼ねている。



粒径は選択可能、造粒速度と機械施肥対応を勘案して4ないし5mmが主流

ペレット堆肥普及上の課題

特殊肥料と普通肥料の壁

- 施肥対応
 - 堆肥の主成分の含有量は厳密に保証されていない。
- 成分調整
 - 堆肥の主成分の含有量と作物の要求量が合致していない
 - 堆肥に成分調整を目的として化学肥料を混和することは認められていない。
 - 堆肥と化学肥料をそれぞれ散布する必要がある。
- 流通
 - 普通肥料と異なる流通
 - 造粒コストの価格転嫁難

特殊肥料の表示

肥料取締法に基づく表示	
肥料の名称	牛糞完熟堆肥
肥料の種類	たい肥
届出を受理した都道府県	熊本県
表示者の名称及び住所	菊池地域農業協同組合 熊本県菊池市旭志川辺1875
正味重量	40kg
生産した年月	枠外に記載
主要な成分の含有量等	
窒素全量	0.95%
リン酸全量	1.52%
加里全量	1.82%
炭素窒素比(C/N比)	21.0%
石灰全量	0.79%
水分含有量	50.0%

誤差の許容範囲±0.3%

普通肥料の表示

販売業者保証票	
肥料の名称	くみあい苦土入り複合硫加燐安820号
保証成分量(%)	
アンモニア性窒素	8.0
く溶性りん酸	12.0
内水溶性りん酸	4.0
く溶性加里	20.0
内水溶性加里	19.5
く溶性苦土	4.0
原料の種類	

保証成分量以上必須

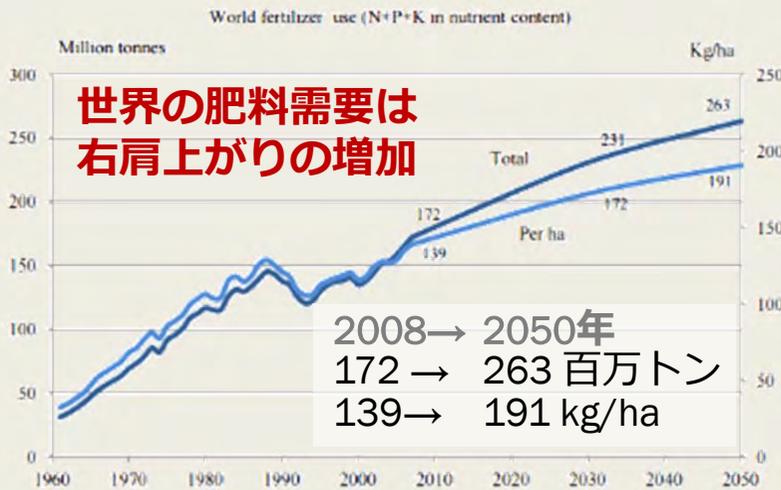
本堆肥だと1トン施用でリン酸12.2~18.2kgの巾を甘受

普通肥料：

原料、製造法、含有すべき主成分の最小量等の基準が定められており、製造にあたり登録手続が必要。

家畜ふんに含まれる養分の過剰地域から不足地域への分配

- かさのある堆肥をどのように取り扱いやすくするか
- 家畜ふん堆肥の肥料原料への転換



Alexandratos, N. and J. Bruinsma. 2012. *World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision*. ESA Working paper No. 12-03. Rome, FAO.

化学肥料製造における実態調査
(経済産業省製造産業局化学課, 2013)
肥料メーカー26社回答

リン安系高度化成
肥料コストに占める
原材料費の割合

平均 **64%**

原料調達に対する
不安は経営課題

72%

あてはまる、ややあてはまる
回答の合計

国際市況や為替に影響されない国内の有機性資源の肥料原料としての活用促進がより一層求められる。

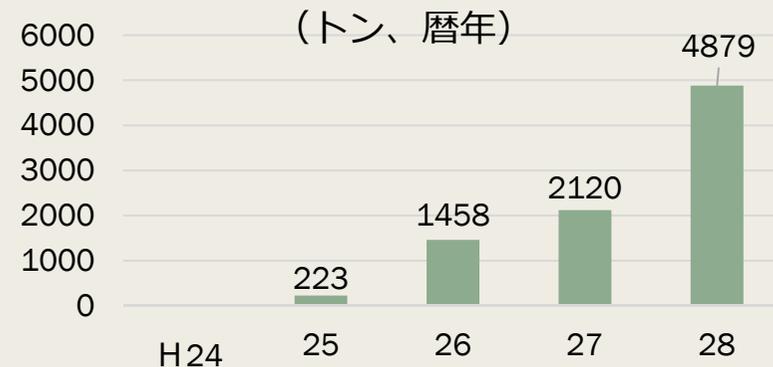
混合堆肥複合肥料

- 堆肥と化学肥料を配合した肥料の生産を条件つき*で承認（2012年）
- 混合堆肥複合肥料の生産量は年々増加（右上図）
- 2019年7月1日現在65銘柄が普通肥料登録
- 肥料成分の含有量を保証（右下図）

条件*

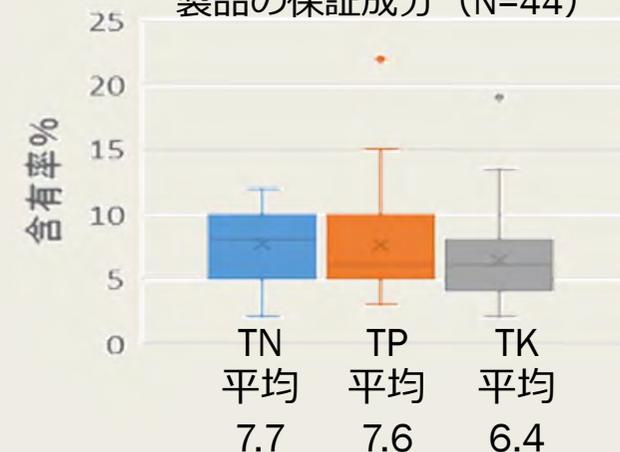
- 堆肥の由来
- 堆肥の混合割合
- 堆肥のC/N比と三要素の含量
- 造粒後の加熱乾燥
- 製品の三要素の含量 $\geq 10\%$ など

混合堆肥複合肥料の生産量



出典：ポケット肥料要覧2017/2018…

製品の保証成分 (N=44)



研究プロジェクトの紹介

生産コストの削減に向けた有機質資材の活用技術の開発 (農林水産省委託プロジェクト 2015～2019年度)

- 牛ふん堆肥ベースの混合堆肥複合肥料開発
 - 豚ふん、鶏ふん使用の銘柄開発済
 - 資源量が大きい
 - 主に開放型施設で堆肥化（高水分）
 - 繊維が多く造粒に不向き??
 - 用いられている副資材が多様
- 開発肥料のねらい
 1. 有機物還元を重視したもの
 2. 化成肥料代替を重視したもの
- 研究実施体制

公設試（福岡、岡山、三重、静岡、
神奈川、新潟）、肥料メーカー
（朝日工業、三興、ホーチアグリコ、
すすき牧場、テクノマックス南日本）
農研機構九州沖縄農研



令和元年度内にマニュアル刊行

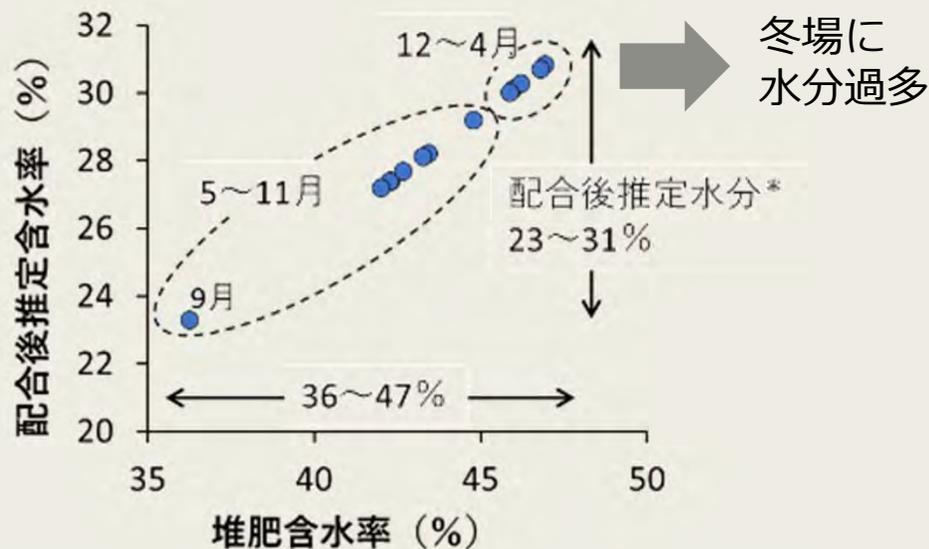
プロジェクト開発肥料の登録状況

	福岡県 (株)すすき牧場	静岡県 (株)ホーチアグリコ	静岡県 (株)ホーチアグリコ	岡山県 三興(株)	岡山県 三興(株)	神奈川県 (株)朝日工業
用途	コムギ追肥 4-3-3	チンゲン菜 ハネギ 5-2-3	レタス 7-2-5	キャベツ 10-3-7 (CDU配合)	水稻 9.2-3.9-15.8 (BB用)	特栽葉物 6-4-4
						
保証成分 (%)	TN 4.0 IAN 2.2 TP 3.2 TK 3.1	TN 5.0 IAN 1.6 TP 2.0 TK3.0 IWK 1.0	TN 7.0 IAN 3.0 TP 2.0 TK5.0 IWK 3.0	TN 10.0 TP 3.0 TK 7.0 ICK 5.4 IWK 5.3 CMG 1.0 WB 0.05	TN 9.2 IAN 5.9 TP 3.9 ISP 2.9 IWP 2.3 TK 15.8 IWK 15.2	TN 6.0 IAN 1.5 TP 4.0 ICP 1.5 TK 4.0 ICK 2.4 IWK 1.7
登録番号	103493	103501	104866	102424	103291	101895

原料堆肥の成分の年次変動

M牧場が生産した肉牛ふん堆肥の成分変動（13カ月）

項目	平均±標準偏差	CV%	判定
全窒素%	3.14±0.12	3.8	○2%以上
全リン酸%	4.03±0.19	4.7	○三要素 5%以上
全カリ%	4.18±0.18	4.3	
C/N比	13.1±0.4	3.1	○15以下
含水率%	43.8±2.9	6.6	



短期葉物用5-2-3開発肥料の検証

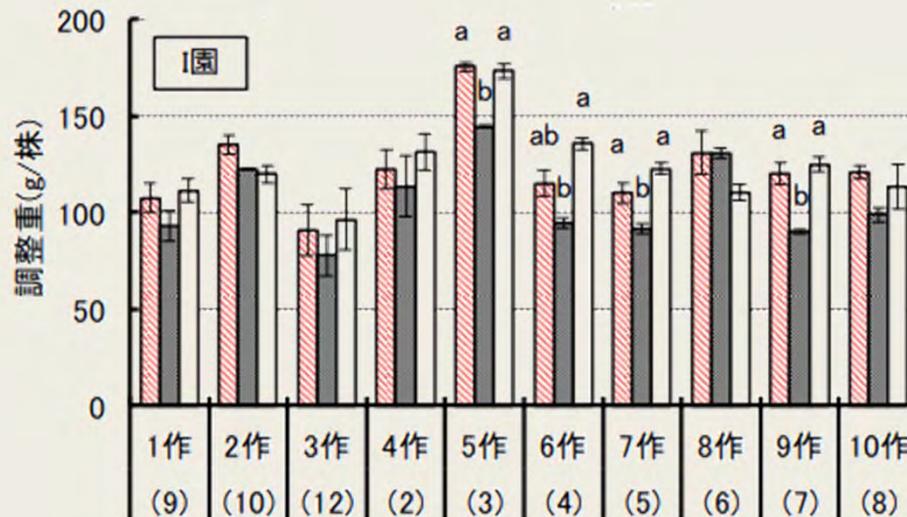
現地試験施肥設計

処理区	N施用量 (g/m ² /作)	堆肥施用量換算値 (g/m ² /作)
■ 開発肥料	15.7	142*
▨ 開発減肥	9.8	88*
□ 慣行	9.8** 6.6 (堆肥由来)	1,515

*開発肥料に含まれる牛ふん堆肥の配合率45%から換算
** 市販配合肥料 (9-2-3) を使用



写真 生産者ほ場での実証
静岡県磐田市
中粒質普通褐色低地土



作付(収穫月、H29-30年)

結果
開発肥料区と慣行区は同程度
開発減肥区は、やや劣った。

混合堆肥複合肥料普及の上の課題

- 原料堆肥の確保
 - 水分調整
 - C/N比
 - 定量・一定品質
 - 肥料工場への輸送
- 肥料製造設備の対応
 - 造粒、加熱乾燥
 - 環境対策
- 意識醸成
 - 現地実証
 - 販売策

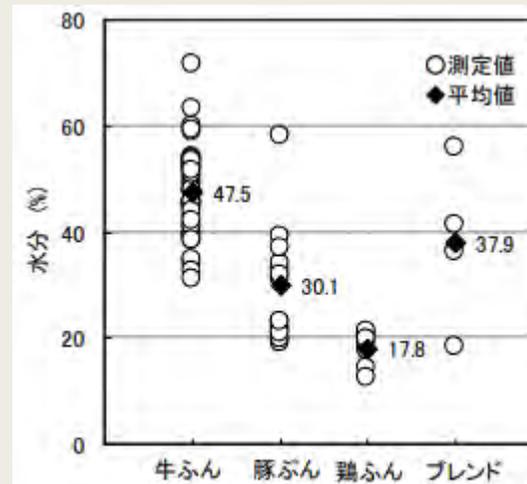


図3 各堆肥の水分含量

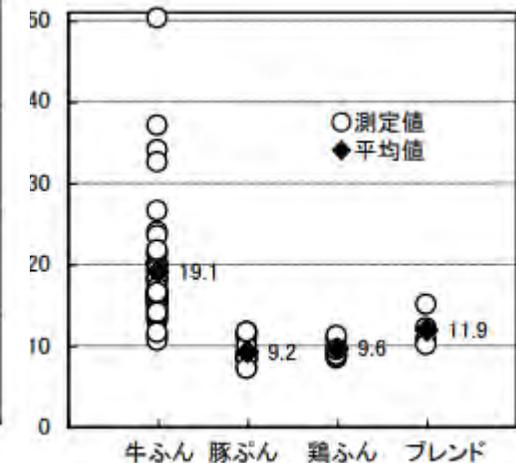


図8 各堆肥のC/N

長崎県で生産される家畜ふん堆肥の含水率

大津ら (2012) “長崎県で生産される家畜ふん堆肥の化学性 ～県堆肥コンクルの出展堆肥からの事例～”

混合堆肥複合肥料原料としての適正な含水率は、**45%以下が望まれる。**

混合堆肥複合肥料の原料堆肥に求められること

法例面

1. 公定規格の要求事項を満たす

	N	NPK	C/N
家畜ふん堆肥	2%≦	5%≦	≦15
食品由来堆肥	3%≦	5%≦	≦15

2. 特殊肥料の届出済み

経済面

1. 成分当たりで既存原料に対し価格競争力があること

品質面

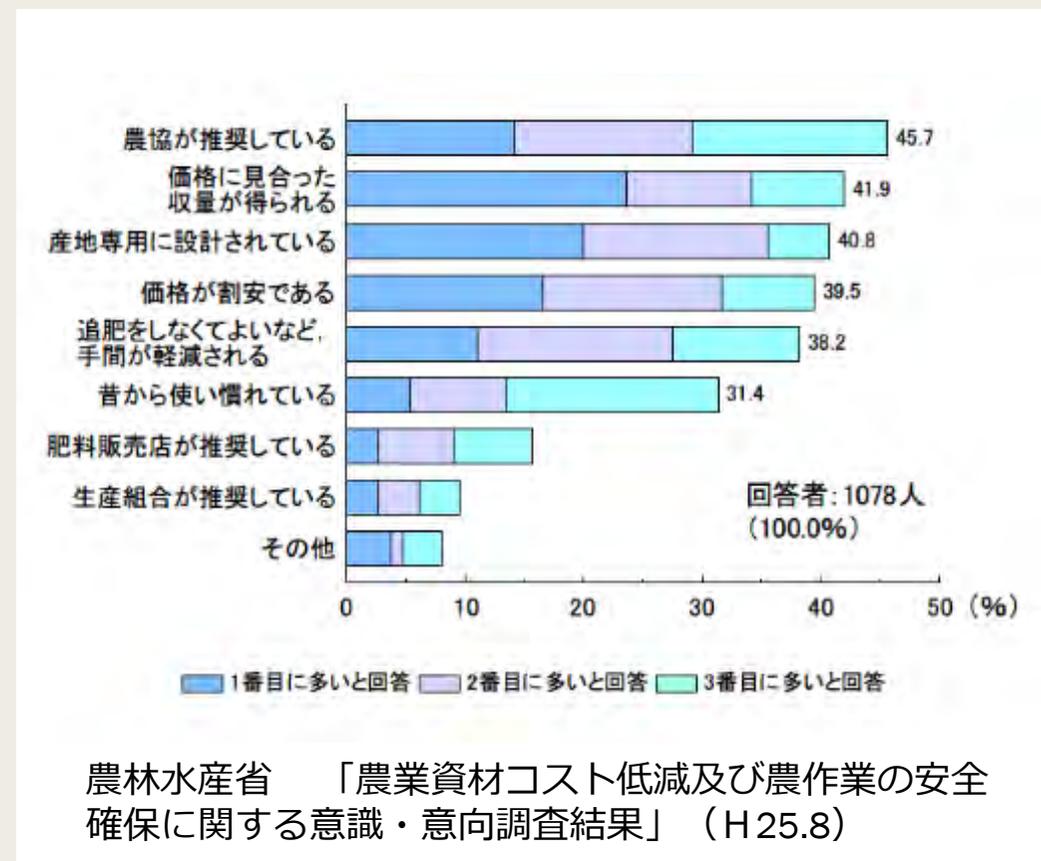
1. 十分完熟であること（低臭気）
2. 含水率が低いこと
3. 加工しやすいこと（造粒性、流動性）
4. 季節変動が小さいこと
5. 製品の品質、物性が確保できること

物流面

1. 工場近隣から出荷できること
2. 要求される荷姿で出荷可能
3. 安定供給できること

混合堆肥複合肥料普及の上の課題

- 原料堆肥の確保
 - 水分調整
 - C N比
 - 定量・一定品質
 - 肥料工場への輸送
- 肥料製造設備の対応
 - 造粒、加熱乾燥
 - 環境対策
- 意識醸成
 - 現地実証
 - 販売策



混合堆肥複合肥料のインパクト

■ 潜在的な肥料ソースである家畜ふん堆肥を利用

- 輸入肥料原料への依存を減らせる。
 - ⇒ 家畜排せつ物中に含まれるリン酸、カリの量は肥料内需の各々37、67%を占める。（金澤,2009中央農研報）
- 耕畜連携を超えたリサイクルループの形成が可能
 - ⇒ 畜産業→肥料メーカー→耕種農家の協働

■ 施肥関連作業の軽労化

- 普通化成肥料相当の取扱の容易さ
- 土づくり（有機物投入）と施肥が同時に可能
 - ※有機物施用量が堆肥と比べて1桁小さいことに注意
- 堆肥や肥料の過剰施用に伴う栄養分の集積、環境への負荷を低減

■ 製品展開

- 中小の肥料メーカー（化成肥料製造能力を有する）が参入可能
 - ※臭気対策、造粒設備の変更、乾燥設備の増強が必要な場合も多い
- 製品価格の低廉化（有機化成に比べ1-3割安実績）
- 混合堆肥複合肥料は、指定配合肥料の原料としてもB2Bが可能

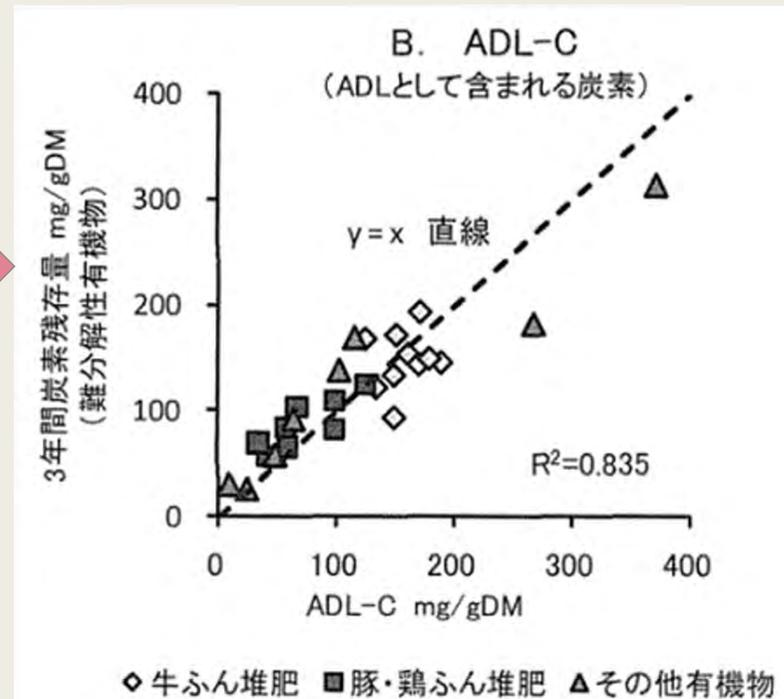
有機物供給効果の可視化

資材毎の効果の大きさを比べられないか？

仮説：できるだけ土壌中で分解しにくく安定的な画分を多く含む有機物を施用すれば土壌有機物の維持増加に効果的ではないか。



土壌と有機物試料の一定量をガラス繊維ろ紙に包み土壌中に埋設、一定期間後に掘り出し炭素の残存率を測定。



ADLが指標に適するのでは

出典：小柳ら（2011）分解特性からみたバイオマスおよび堆肥の利用方向. 新潟県農総研畜産研究セ研究報告, 17, 9-14.

A D L とは

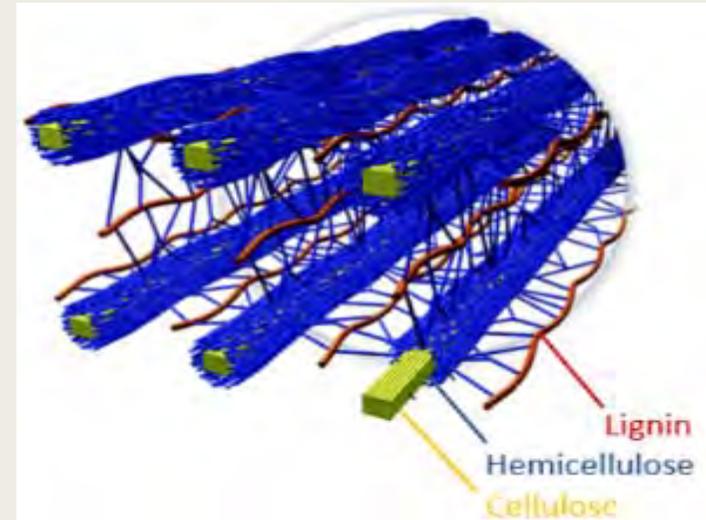
デタージェント法による繊維の分画



A D F : セルロース、リグニンが主体
 硫酸と界面活性剤を用いて煮沸した不溶解物から灰分を差し引いて算出する。

A D L : おもにリグニン

ADFを72%硫酸処理してセルロースを除き、**ろ過した残さ**重量を測定したのち、その灰分量を差し引いて算出する。



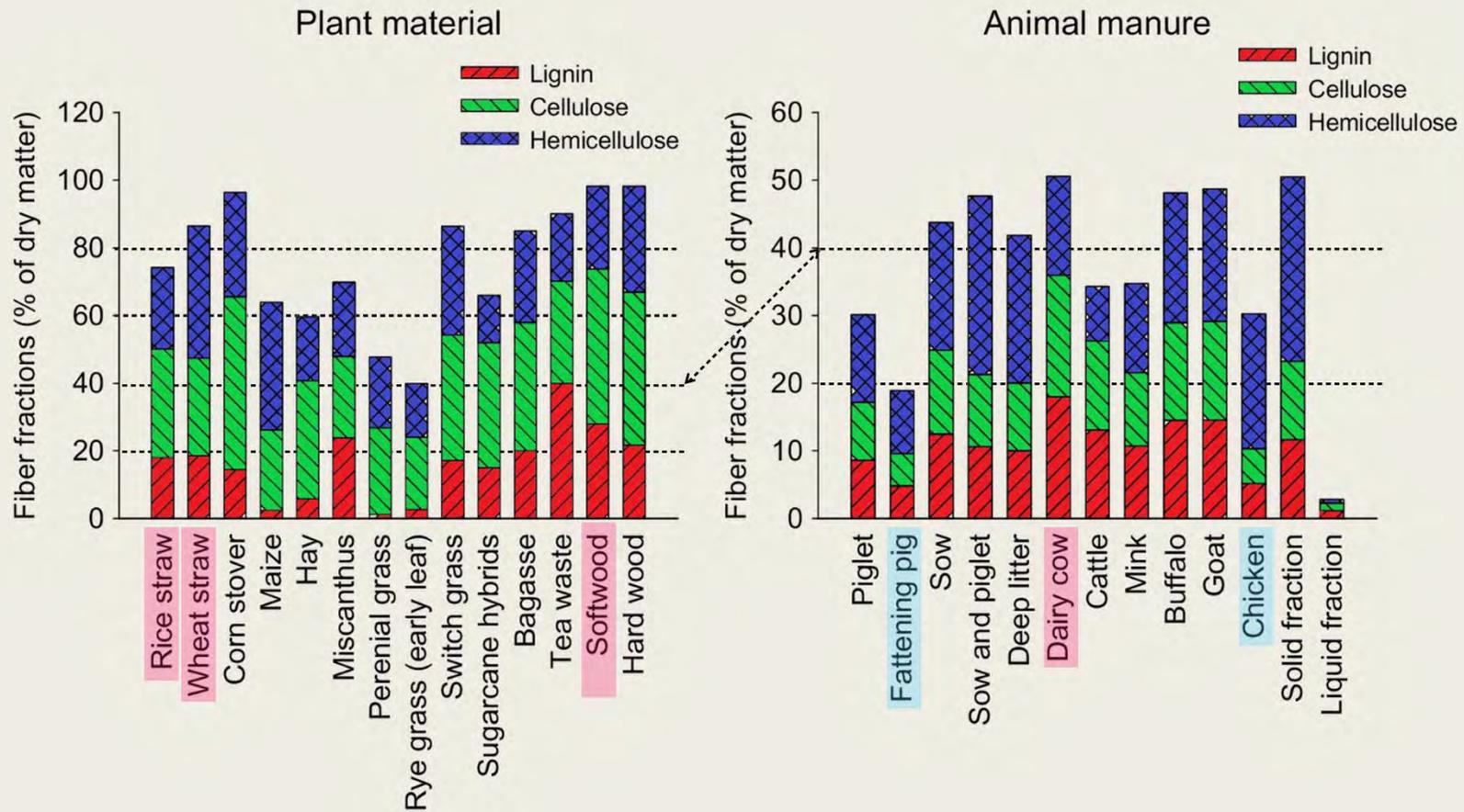
植物細胞壁の構成繊維の図解

Van den Bosch et al.,2008: Catalytic Strategies Towards Lignin-Derived Chemicals.

ヘミセルロース **セルロース** **リグニン**
 (リグノセルロース)

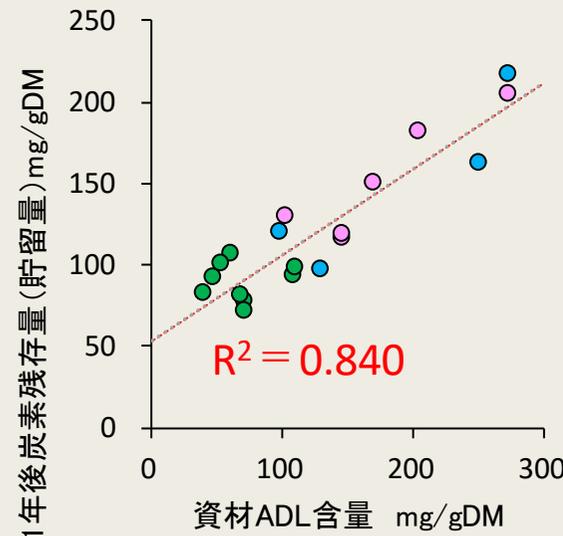
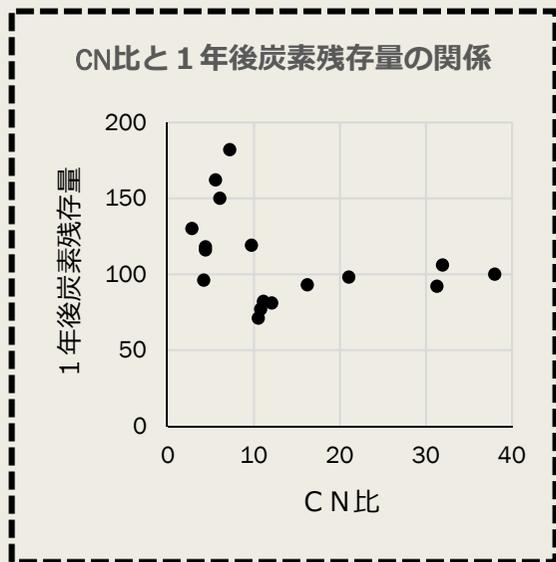
消化性 (飼料、メタン発酵)
 分解性 (堆肥化、土壌)
 が異なる。

作物、家畜ふんの繊維含量 ～乳牛ふん高く、豚・鶏低い

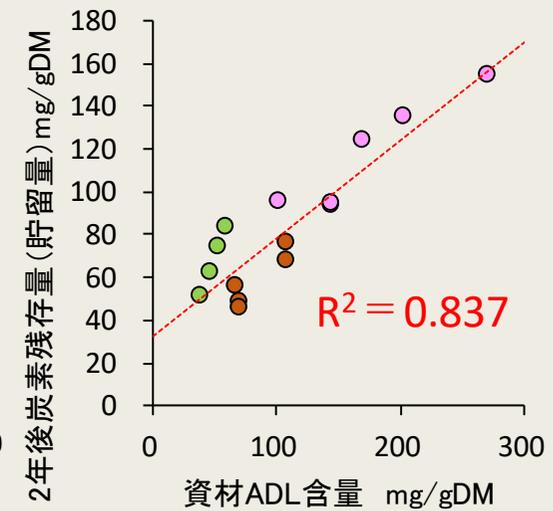


Bernal et al.,(2017) Advances in agronomy. 144, 143-233.Fig.4を加工

A D L と炭素残存量の関係の検証



- H28埋設緑肥
- H28埋設堆肥(複合肥料)
- H29埋設堆肥(複合肥料)



- H28埋設イネ科緑肥
- H28埋設マメ科緑肥
- H28埋設堆肥(複合肥料)

(小柳 未発表データ)

伝統的な指標 (C/N比) では炭素残存量を推定できない。

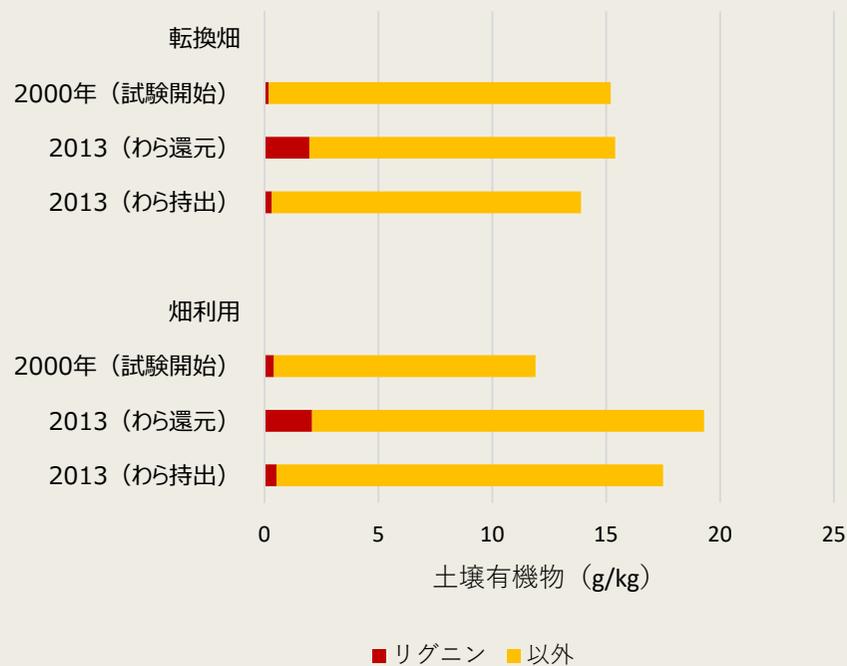


有機物供給効果の
資材間の相互比較が可能

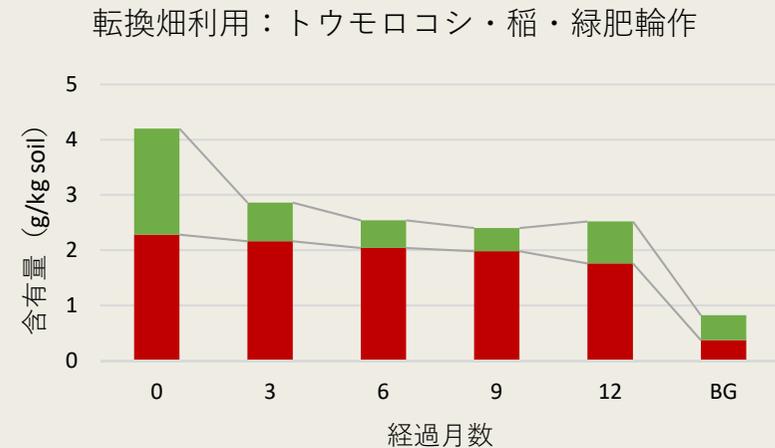
リグニンは土壌中に残存しやすい

Chen et al. (2018) Lignin and cellulose dynamics with straw incorporation in two contrasting cropping soils より作成 (2つの対照的な作付けの土壌におけるわらのすき込みによるリグニンとセルロースの動態)

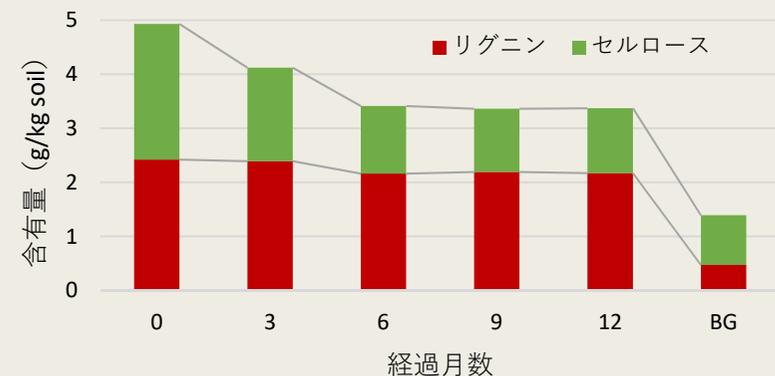
13年間のわら還元による土壌有機物量の変化



12カ月間のセルロース、リグニンの動態



畑利用：カンショ・ナタネ輪作



- わらの長期連用により土壌有機物中のリグニン画分が増加(上)。
- セルロースが土壌中で3~6カ月でセルロース以外の物質に変換されるのに対してリグニンは変わらない(右)。

ADLを指標とした有機物供給効果の可視化に向けての課題

- 伝統的な指標（C/N比）では、数年後の炭素残存量を推定不可能
- ADLを指標とすることで炭素残存量を推定可能
- ADLを指標として有機物供給効果の**資材間の相互比較**が可能

- ADLの測定が煩雑、専用機器が必要
 - 多工程、重量法、灰分測定、劇物の使用
- ADLの正体は？（リグニン+・・・）
- 将来的には、他のプロジェクトへの協力
- 資材の品質表示項目への採用働きかけ。



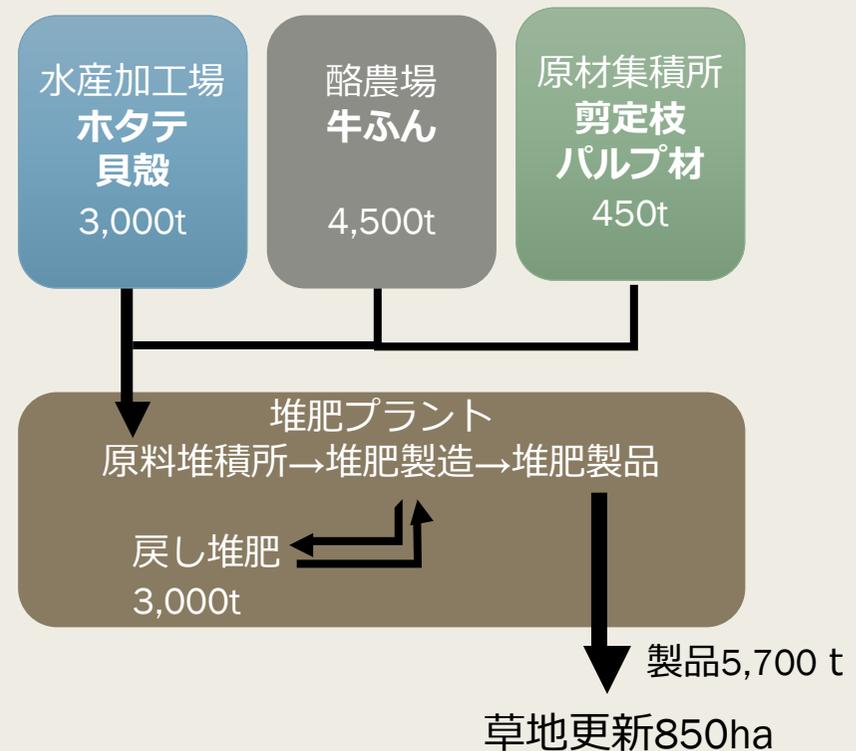
SDGs的視点 = 地域の複数の課題の 統合的解決



- 経済・社会・環境の諸問題を統合的に解決
- それぞれの地域における再生可能なエネルギー・資源の活用を推進
- 農業地域では畜産業から排出される家畜排泄物だけでなく、食品関連事業者等から食品廃棄物が排出される。
- 農業関係に留まらず、耕畜の枠組を超えて地域の複数資源を組み合わせた共堆肥化（co-composting）と堆肥化物の利用をすすめるべきではないか。

事例 1 | ホタテ貝殻・牛ふん堆肥

- 実証地域
 - 北海道宗谷地域
- 地域の課題
 - 堆肥化副資材の木材チップの不足
 - 草地の酸性化による収量減
 - ホタテ貝殻の処理見通し
 - 農家自身による堆肥製造は施設、労力面で困難
- 解決策
 - 大型堆肥化施設による集中処理
 - 副資材の一部を破砕貝殻に代替することで副資材の使用量を節約
 - 草地更新における石灰質資材としての貝殻堆肥の施用効果を実証
- 課題
 - 経費の4割が搬送、散布費用
 - 運営費が炭カル価格(¥380)をやや上回る



出典：北海道立総合研究機構（2015）
循環資源利用促進特定課題研究開発基金事業報告書 ホタテ貝殻・牛糞堆肥の安定製造技術と草地での施用法確立

事例 2 | 鶏ふん、焼酎粕混合堆肥化

- 実証地域
 - 南九州
- 地域の課題
 - 畜産業の集中立地
 - 焼酎蒸留廃液（有機廃酸）の処理
 - 土壌肥沃度の低下
- 解決策
 - 堆肥化過程で水分の減少しやすい鶏ふんに焼酎粕を間欠的に散布、混合
 - 土壌改良と作物生育に有用な腐植酸が集積した堆肥を生産
- 課題
 - 生産拡大に向けた工場新規立地と原料の確保
 - 産廃中間処理の免許



鶏ふんに焼酎粕を約35日間毎日散布混合

↓
さらに約30日間熟成、乾燥



	他社堆肥	開発技術
腐植酸含量 (乾物%)	8.3	23.4

(特開2018-030777号)

まとめ

～家畜ふん堆肥による土づくりをすすめるには

- **家畜ふんに含まれる養分の過剰地域から不足地域への分配**
 - 造粒（ペレット成形）によるハンドリングの改善
 - 混合堆肥複合肥料による堆肥成分の肥料原料への転換
- **土壌有機物供給効果の可視化**
 - A D L（酸性デタージェントリグニン）で指標化を
- **SDGs的視点 = 地域の複数の課題の統合的解決**
 - 地域の複数資源を組み合わせ付加価値の高い肥料を
 - そして成功事例の共有を