

国内肥料資源の利用拡大に向けたマッチングフォーラム
In中国四国

限りある資源の循環利用と 環境にやさしい農業

元茨城県農業総合センター 園芸研究所 所長
小川 吉雄

限りある資源の循環利用と環境にやさしい農業

I 物質循環と環境

- 1) 物質循環の破綻と環境影響
- 2) 花咲か爺さんはなぜ灰をまいたか
- 3) 循環型農業と物質移動型農業

II 環境にやさしい農業における

土壌肥料的アプローチ

- 1) 肥料資源の有限性と
有機物還元による養分循環の再生
- 2) 有機物(家畜ふん尿含む)施用に対する考え方
- 3) 輪作・緑肥作物による養分循環

本日のキーワード: 「循環」

I 物質循環と環境

**物質を構成している元素は
決してこの地球上からはなくならない**

熱力学の第1法則（エネルギー保存の法則）

- 宇宙における物質とエネルギーの総和は一定
- 物質の変化はその形態のみで本質は変化しない

熱力学の第2法則（エントロピーの法則）

- 物質とエネルギーは一つの方向にのみに変化する
- 秩序化されたものから無秩序化されたものへ

窒素循環の一例



1) 物質循環の破綻と環境影響

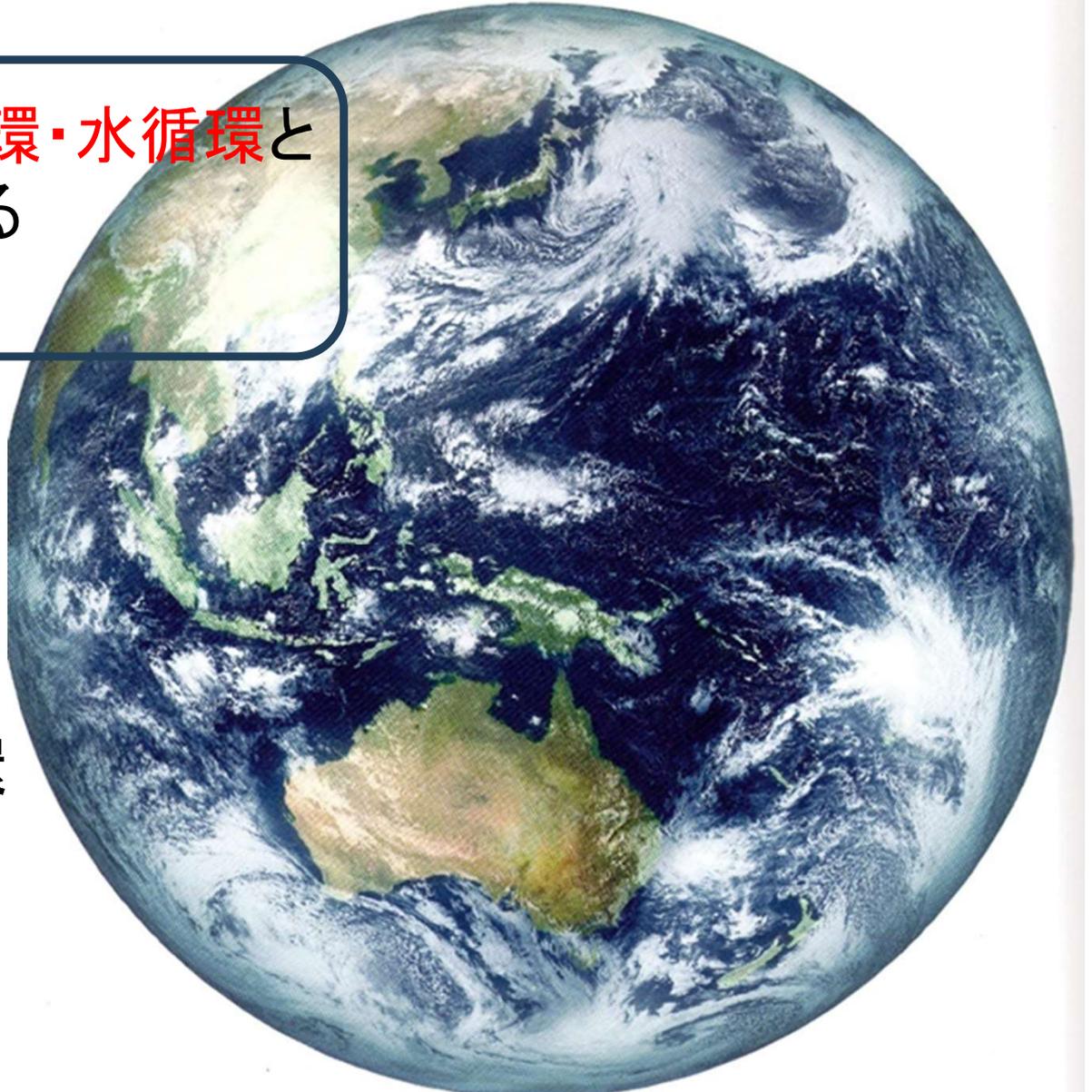
生物地球化学的循環

無生物的に移動する**大気循環・水循環**と
生物の活動に従って移動する
養分循環がある

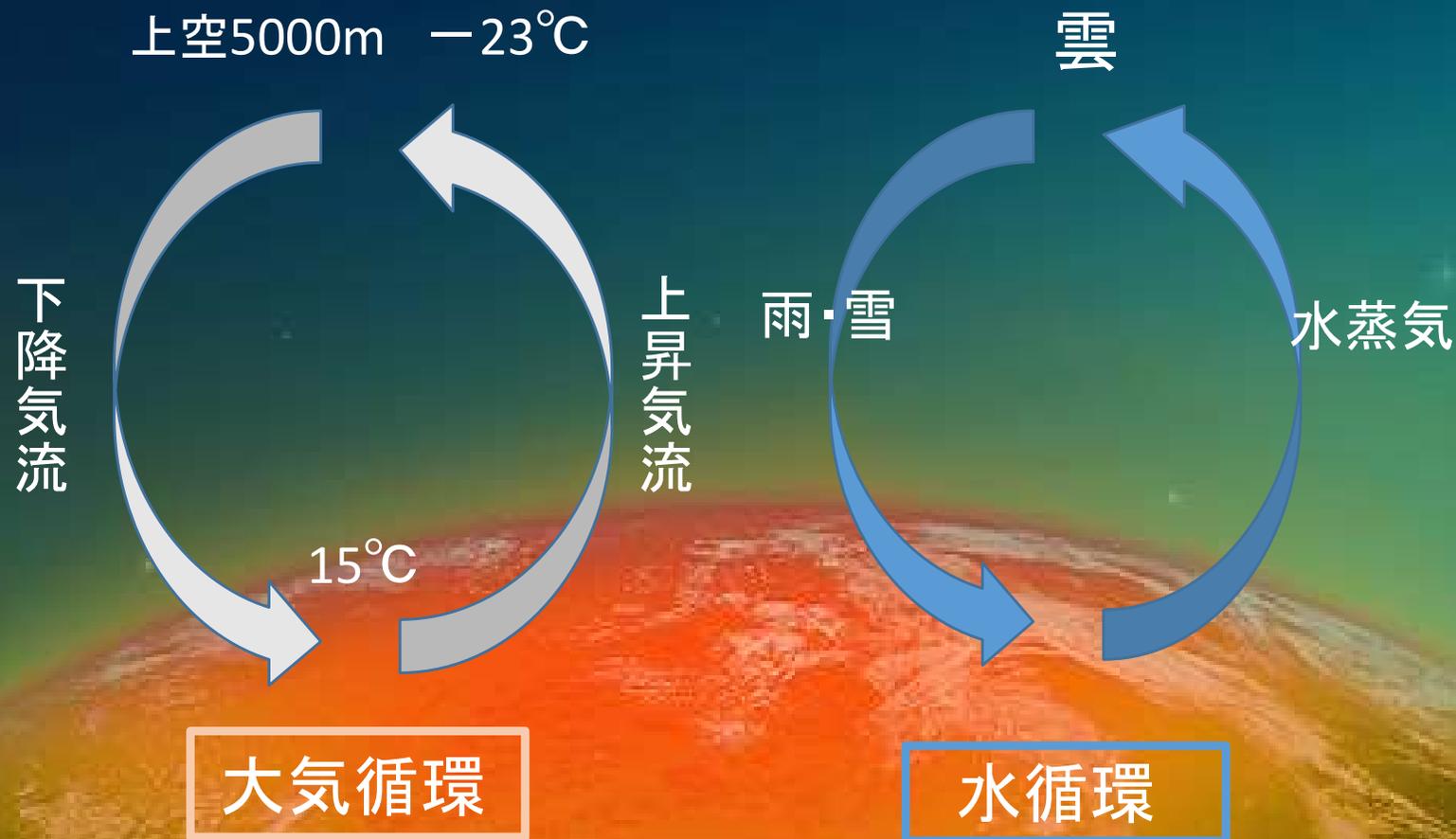
(1) 大気循環・水循環

(2) 炭素循環と地球温暖化

(3) 生物圏における養分循環
(**食物連鎖**)

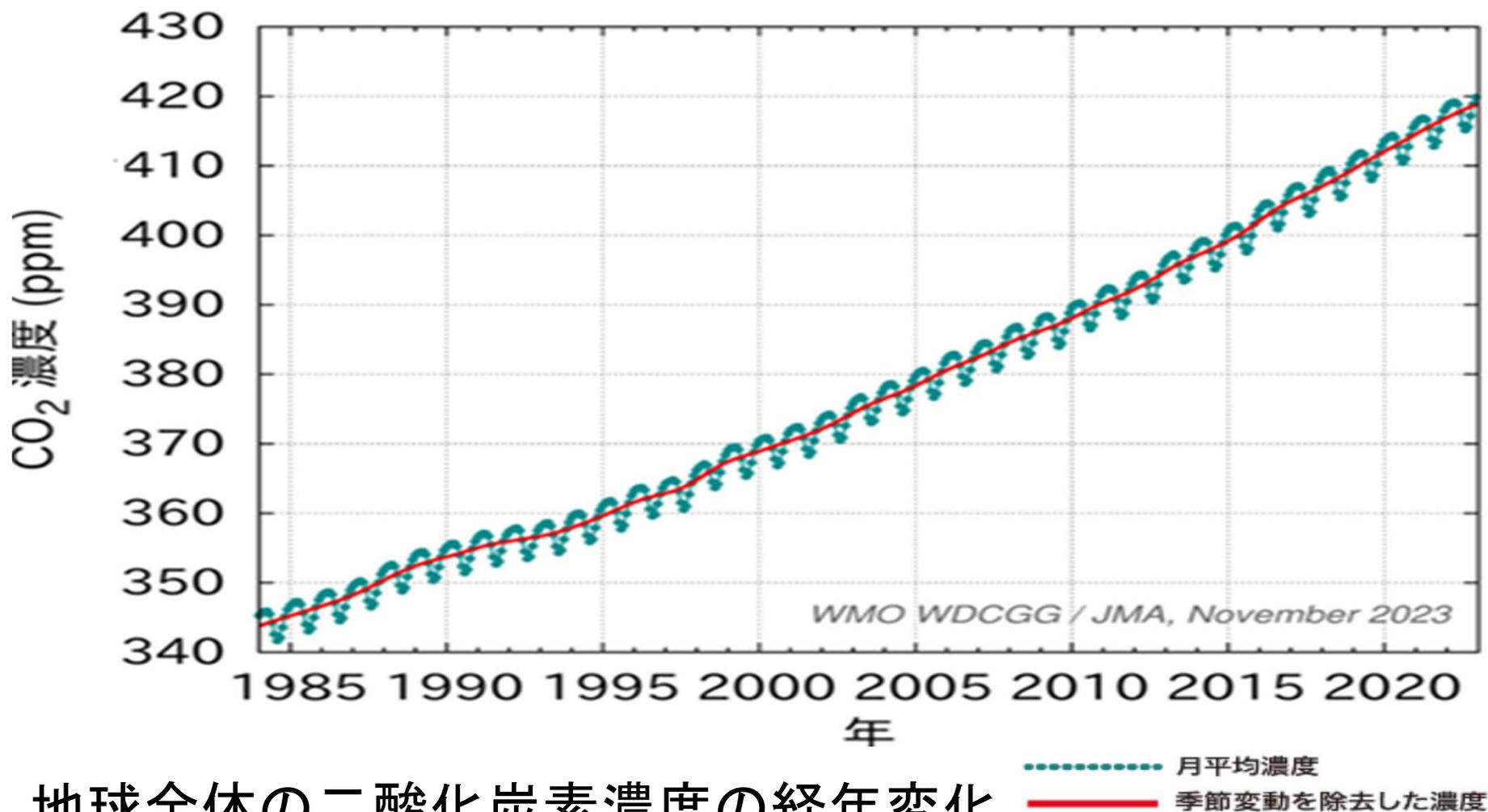


大気と水の循環は地球上の余分な熱エントロピー
(廃熱)を宇宙空間に捨て、地球の表面に熱が
溜まらないようにしている



大気中の二酸化炭素濃度が420ppmを超えた

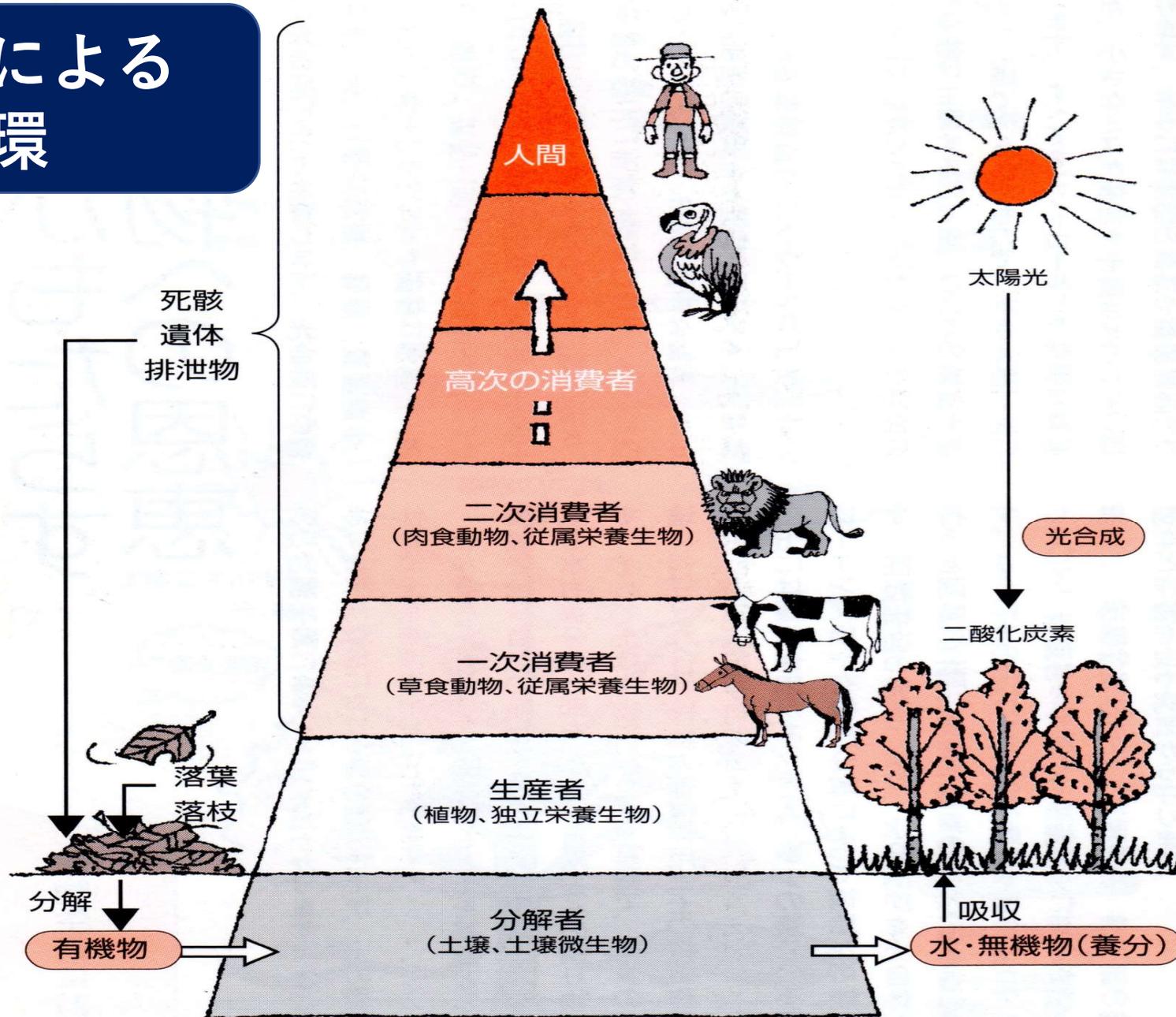
二酸化炭素の累積排出量と世界の平均地上気温はほぼ比例関係にある(約140年間で1.09℃上昇) IPCC第6次報告



地球全体の二酸化炭素濃度の経年変化

出典) 温室効果ガス世界資料センター (WDCGG)
「地球全体の二酸化炭素の経年変化」(気象庁ホームページより)

食物連鎖による 養分の循環



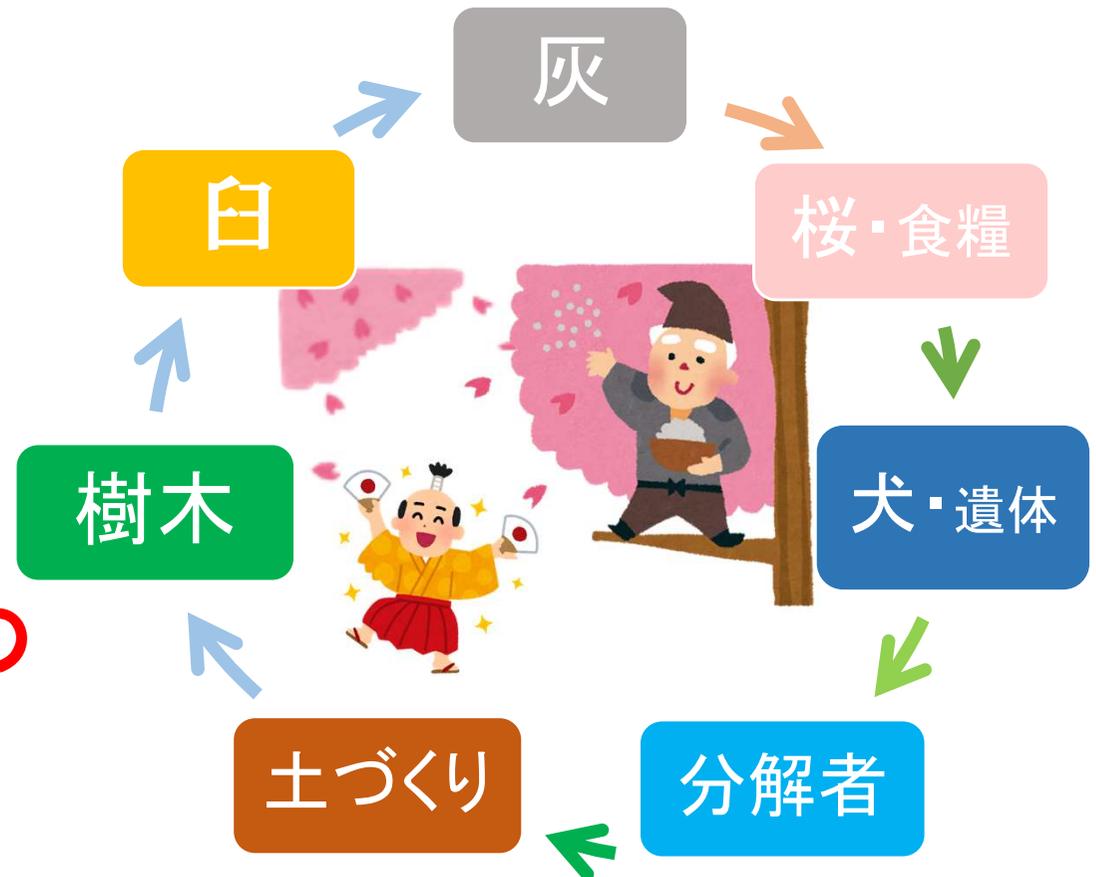
養分循環の基軸は土壌が担っている

2) 花咲か爺さんはなぜ灰をまいたか

草や木を燃やすと、その後に灰が残る。この中にはP, K, Ca, Mgなどの必須元素が含まれている。この灰を作物の根元に戻してやれば、作物はその無機物を吸収して生育する。「花咲か爺さん」の民話はこのことが古くから語り継がれてきたことを示している。

リービッヒの無機栄養説はこのような経験から得られた知識を背景に、近代科学の発展に支えられて登場した。

リービッヒはまさに近代の花咲か爺さんである。



資源としての土壌管理のあり方

肥料の輸入なしに食糧を生産している日本農業は
土壌からの収穫物で持ち出した養分を完全に償還する。

収穫物は地力の利子であり、これを引き出す資本には決して手を付けていない。

J.VON LIEBIG(1876) 吉

田武彦訳



3) 循環型農業と物質移動型農業

農業は大量生産、大量消費を効率よく実現するため、

物質を再利用する持続可能な循環型の農業から、

常に新たな物質の投入と過剰な物質の除去を必要とする物質移動型の農業へと変化させ、壮大な資源の浪費を招いた。



～ みどりの食料システム戦略 ～

令和3年5月 農林水産省

SDGs や環境に対する関心が国内外で高まる中、EUは2020年に「ファームtoフォーク戦略」として2030年までに化学農薬（50%）・肥料（20%）の削減に向けた意欲的な目標を打ち出した。

2021年5月、食料・農林水産業の生産力向上と持続性の両立をイノベーションで実現するという「**みどりの食料システム戦略**」が策定された。その中で土壌肥料的な課題として2050年を目途に次の2つがあげられている。

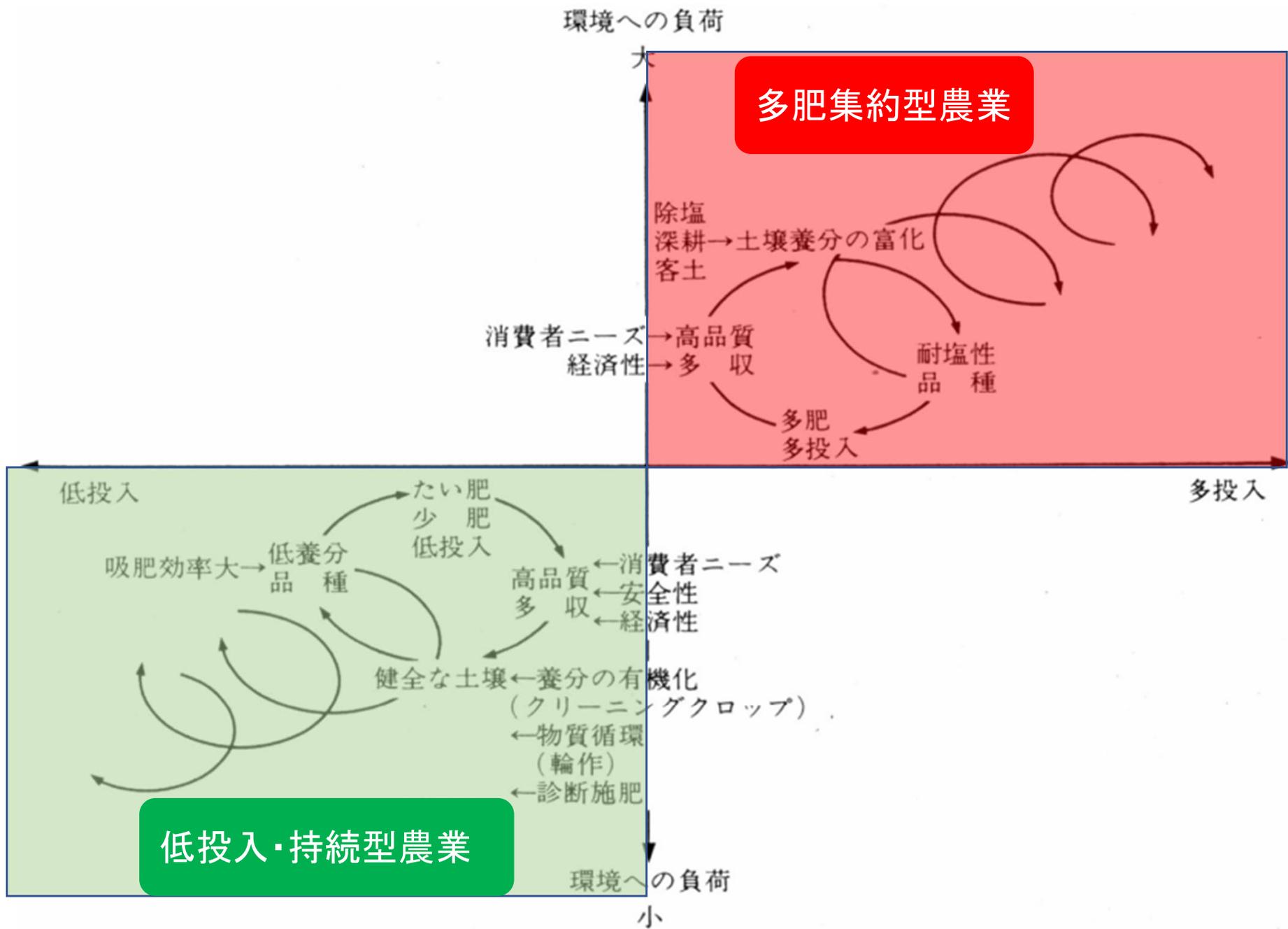
輸入原料や化石燃料を原料とした化学肥料を30%低減する

そのためには地力維持等を考慮した輪作体系の構築、堆肥等の有用資源を活用した施肥体系の確立、土づくりの高度化に向けた生物性評価の確立、肥効調節型肥料の高度化などがあげられている。

有機農業の取り組み面積を全耕地の25%(100万ha)に拡大する

オーガニック市場を拡大しつつ、次世代有機農業に関する技術を確立するため、堆肥の高品質化、堆肥を用いた新たな肥料の生産、堆肥の広域循環システムの構築、さらには有機性廃棄物（食品残渣、汚泥など）の肥料化等を進めるとしている。

Ⅱ 環境にやさしい農業における土壌肥料的アプローチ



1) 肥料資源の有限性

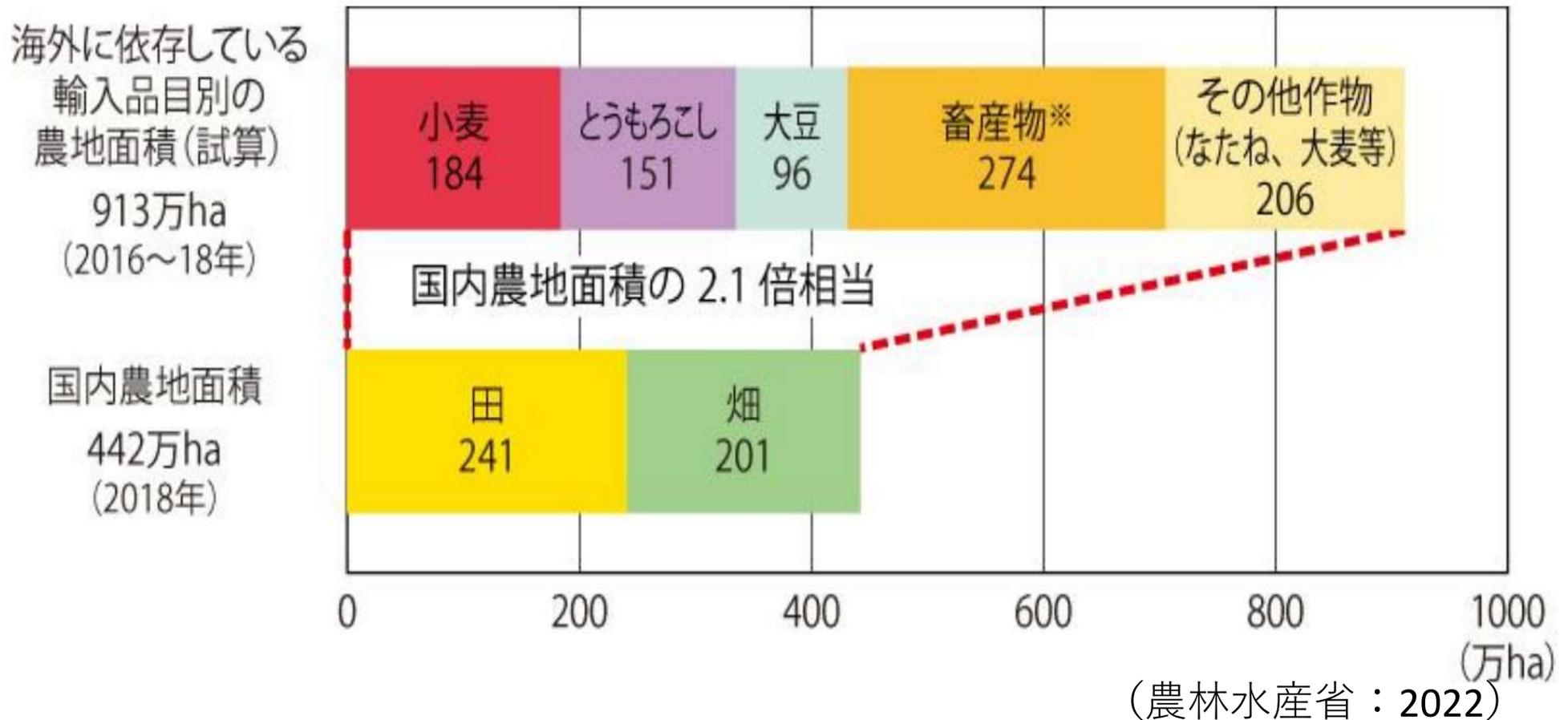
窒素： 窒素成分は大気由来で無尽蔵にある。アンモニア合成に必要な水素は天然ガス、ナフサなどの化石燃料から製造していて、価格は化石燃料の資源動向に影響される。

りん酸： リン資源は大部分がリン鉱石であり、量的にも産地も限られている。一時期資源の枯渇が問題になったが、最近モロッコやノルウェーで新たに資源が発見され、長期にわたる生産が可能となった。

加里： 天然資源のカリウム鉱石はカナダ、ロシアなどに偏在している。埋蔵量も多く、年間使用量の230年分あると試算されている。

国内農地面積の2.1倍の農地を海外に依存している

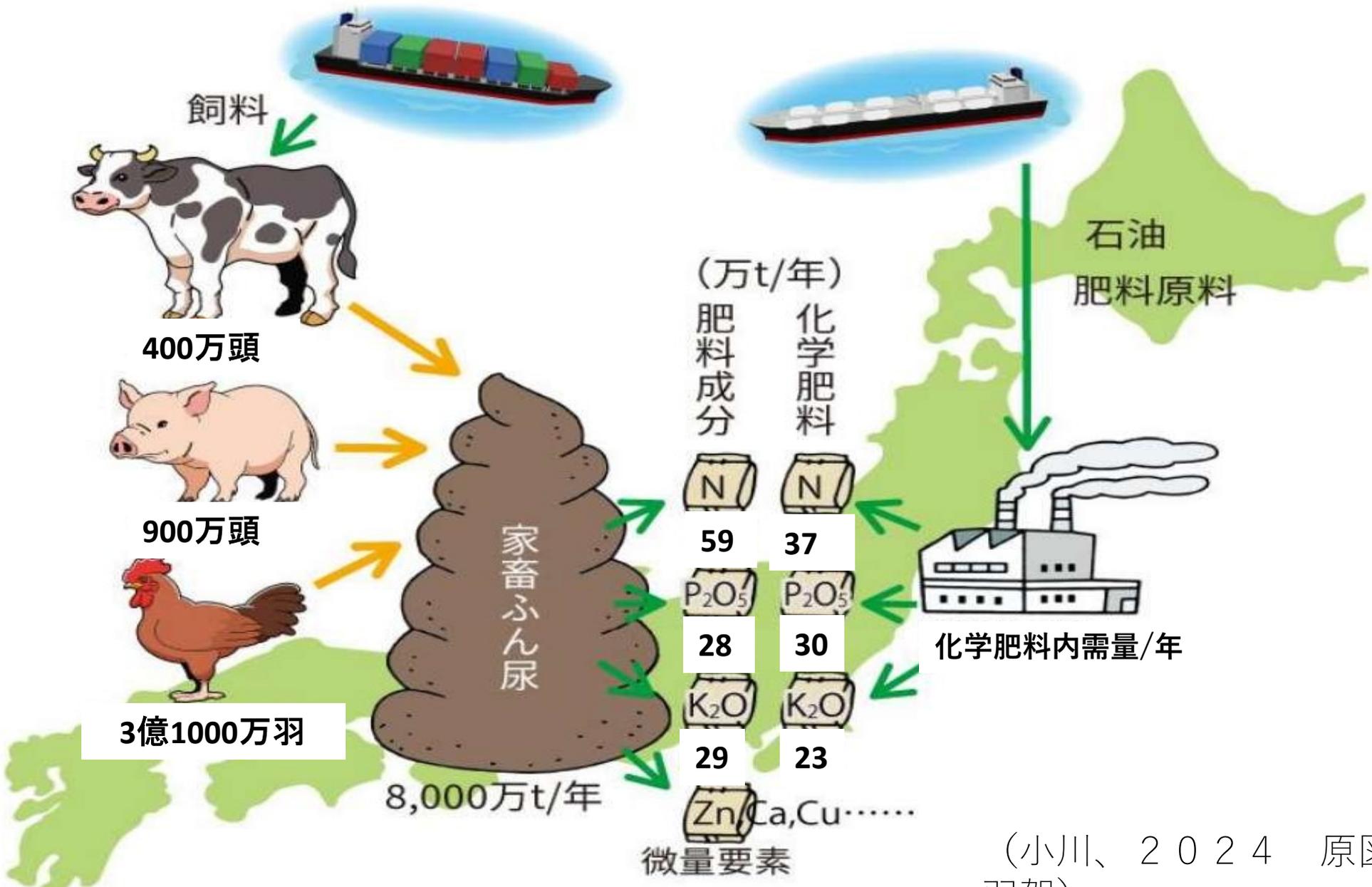
食飼料の輸入は肥料成分の輸入



資料:農林水産省「食料需給表」「耕地および作付け面積統計」等をもとに農林水産省で試算

※輸入している畜産物の生産に必要な牧草・とうもろこし等の量を面積に換算したもの

家畜ふん尿の肥料成分と化学肥料の成分比較

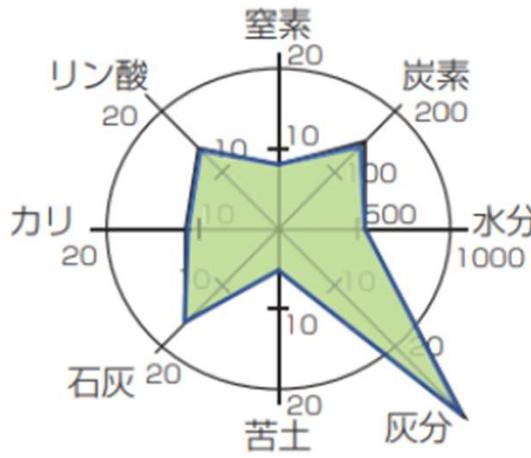


(小川、2024 原図：)

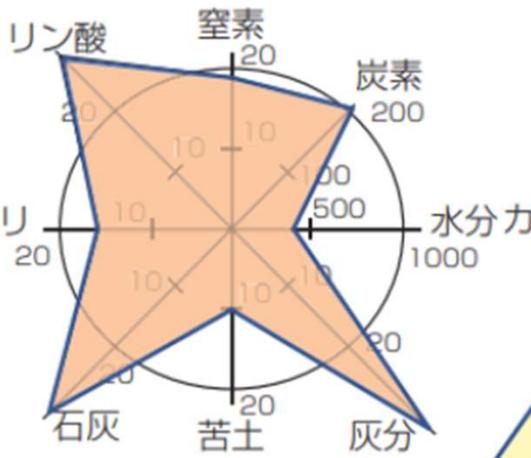
注1) 肥料分量は2023年度家畜統計による頭羽数と三要素原単位量から後藤(2024)算出

注2) 化学肥料内需量は平成28肥年(ポケット肥料要覧)

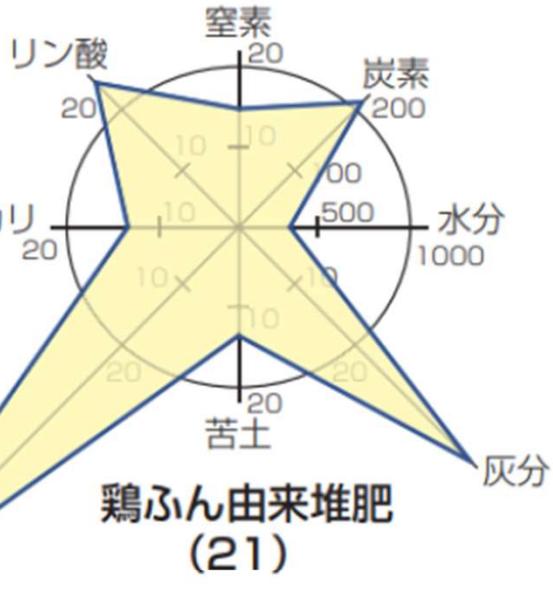
各種堆肥1トン施用した場合の投入成分量(kg)



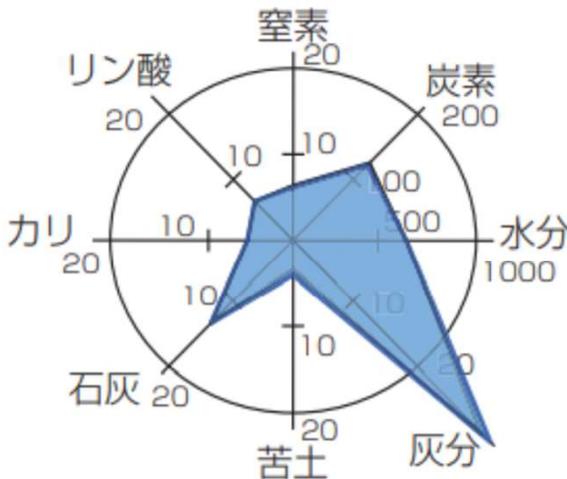
牛ふん由来堆肥 (82)



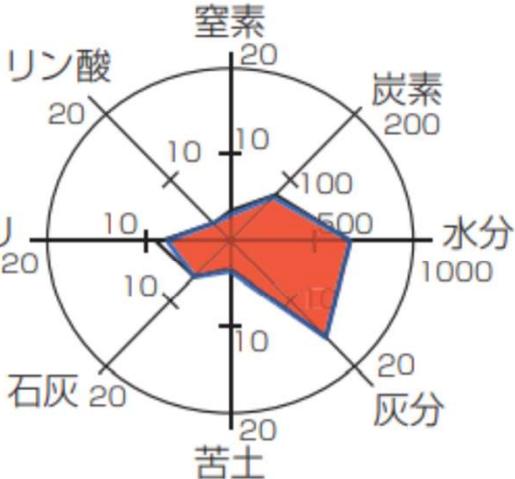
豚ふん由来堆肥 (45)



鶏ふん由来堆肥 (21)



非畜ふん系堆肥 (13)



1960年代の堆きゅう肥 (105)

- 注：
- ・円は各成分 20kg、
 - ・炭素については 200kg、
 - ・水分については 1000kg、
 - ・灰分は全量からの差し引き量
 - ・（ ）はサンプル数

「茨農総セ農研 2002：小川作図」

家畜ふん堆肥の肥効率

(千葉県、2009)

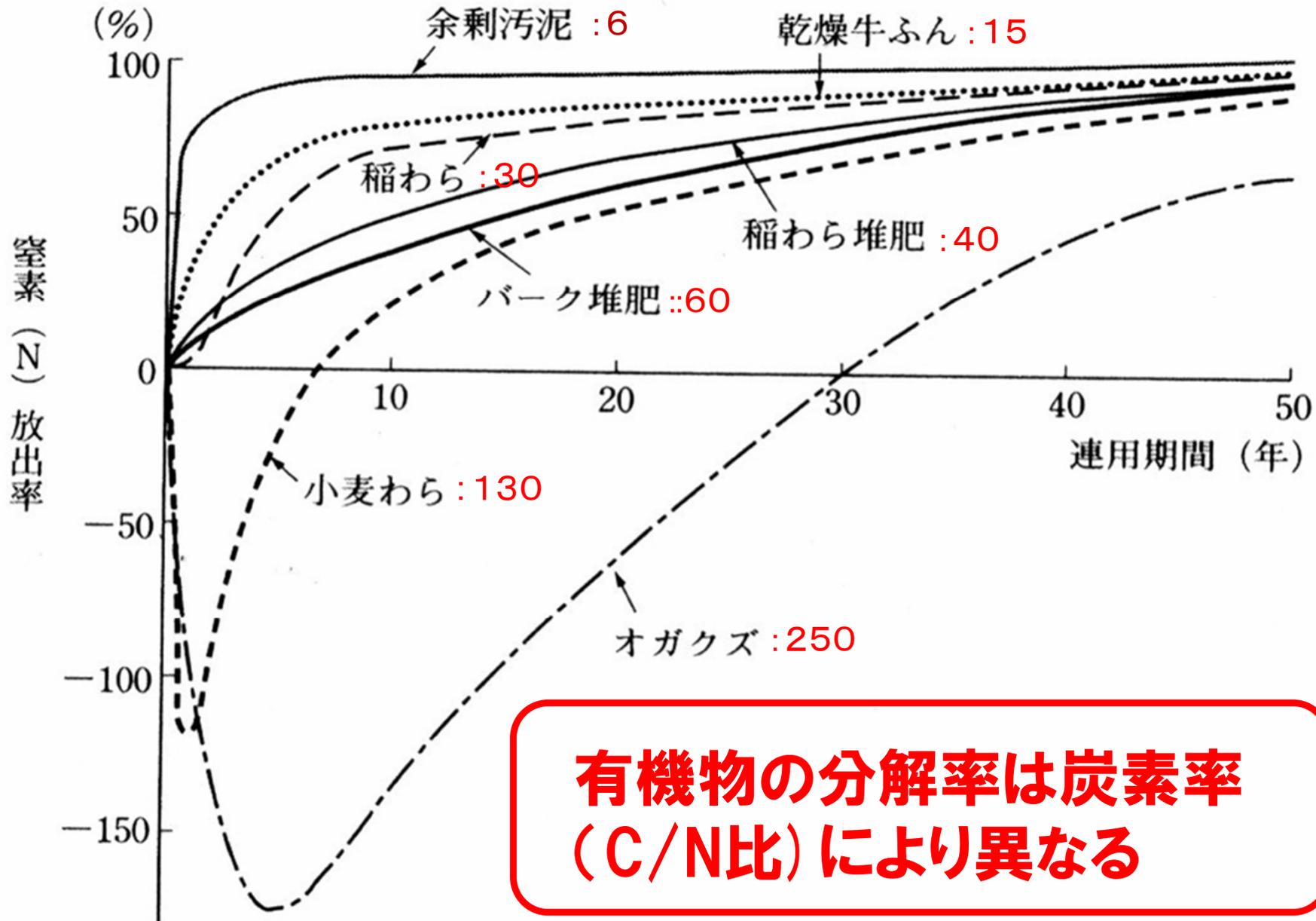
堆肥の種類	堆肥の窒素含有率 (現物当たり (%))	肥効率 (%)		
		窒素	リン酸	カリ
鶏ふん堆肥	0 ~ 1.6	20	80	90
	1.6 ~ 3.2	50	80	90
	3.2以上	60	80	90
豚ふん堆肥 牛ふん堆肥	0 ~ 1	10	80	90
	1 ~ 2	30	80	90
	2以上	40	80	90

注：水分は鶏ふん堆肥で20%、豚ふん・牛ふん堆肥で50%とした

有機物中のリン酸とカリは化学肥料並みに速効性

有機物を連用した場合の窒素放出率の予測図

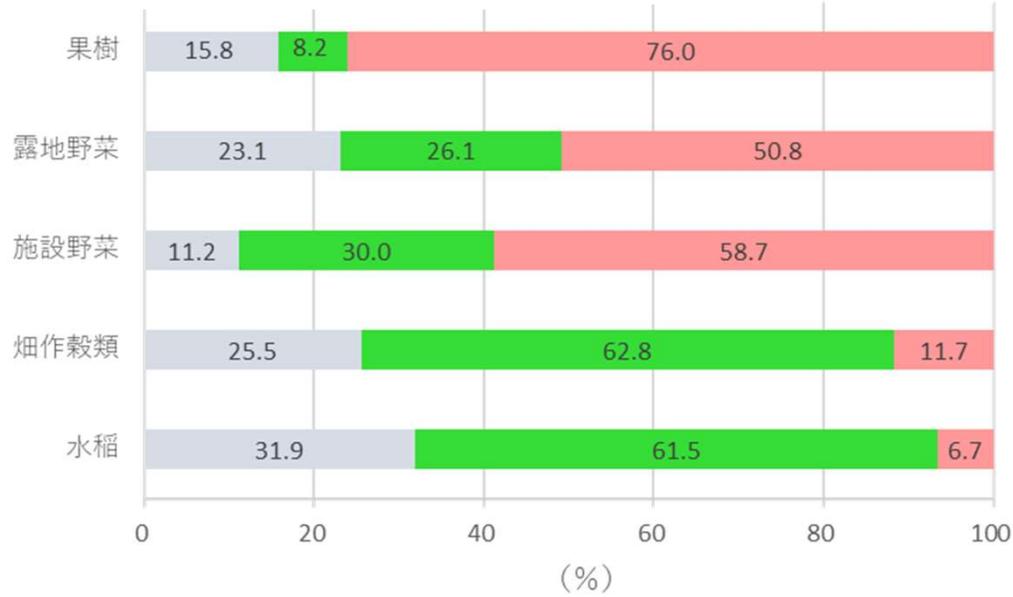
(志賀ら、1985)



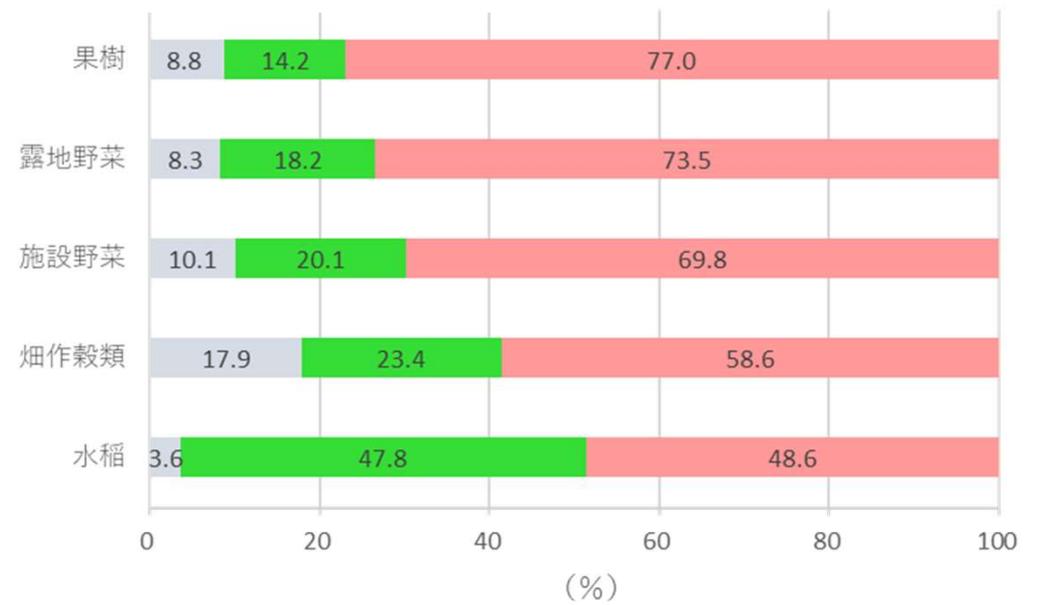
茨城県 作目ごとの養分状況 (R2 茨城農総セ専技室)

■ 低い ■ 適正 ■ 高い

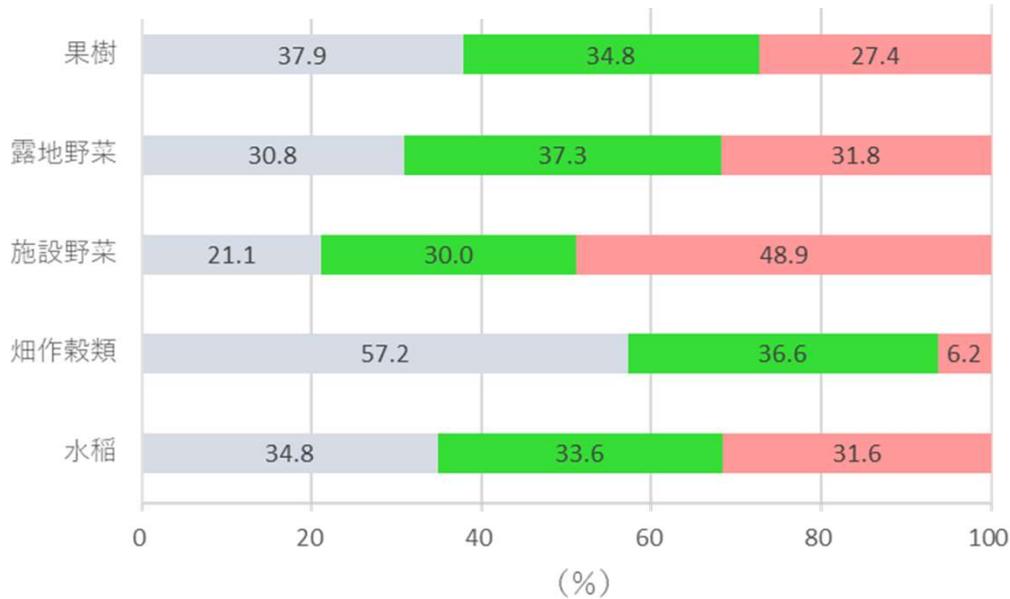
可給態リン酸



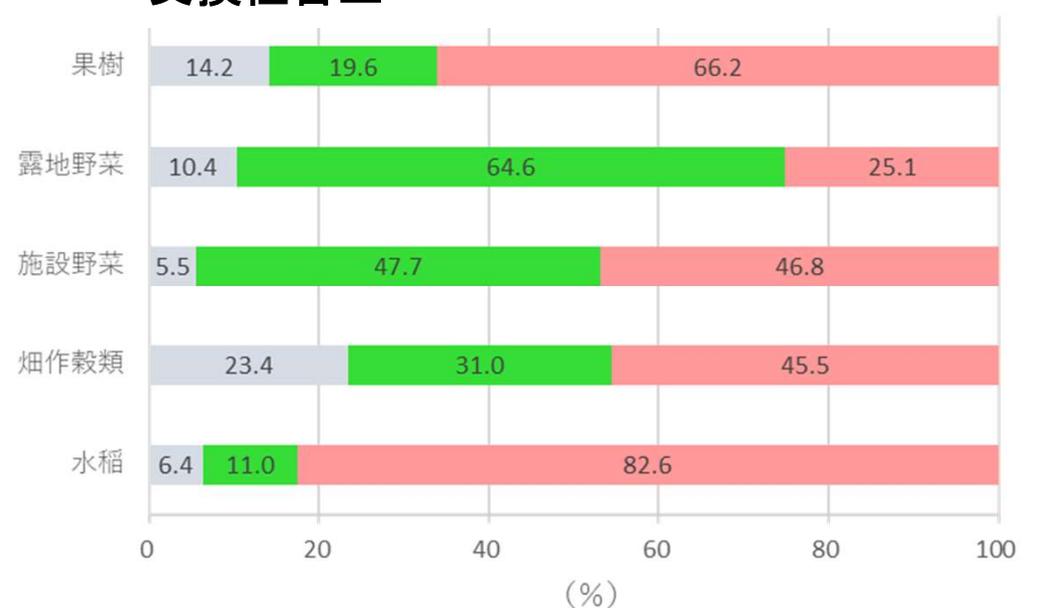
交換性カリ



交換性石灰

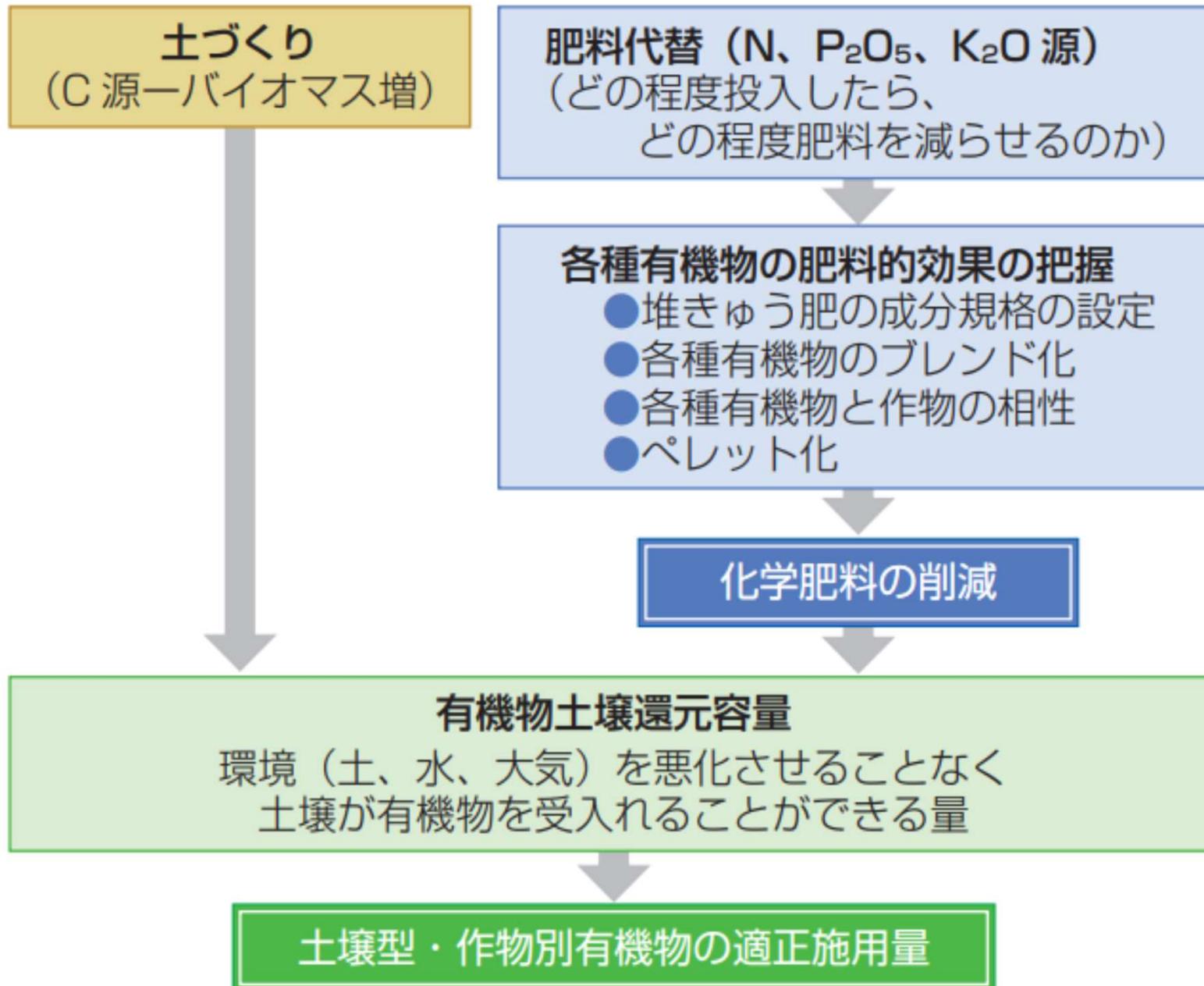


交換性苦土



2) 有機物(家畜ふん尿を含む)施用に関する考え方

どのようなねらい・目的で有機物を施用するのか



事例紹介

「平成27年度普及に移す成果」

園芸作物における堆肥の速効性肥料成分を活かした施肥法

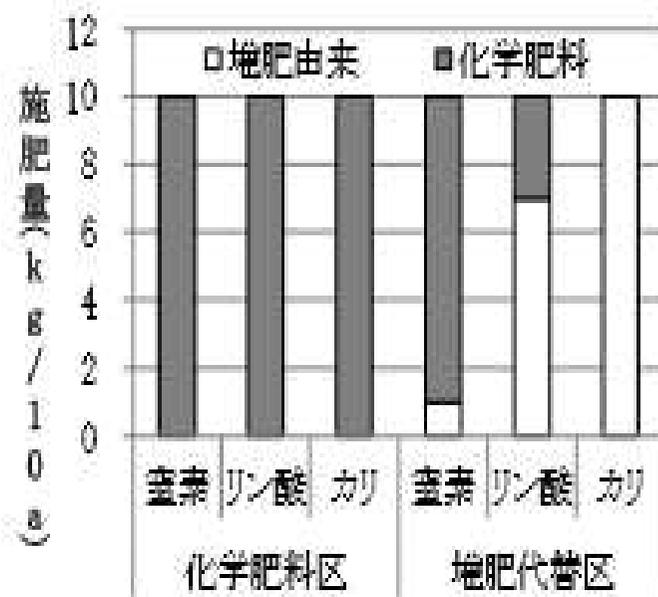


農業総合センター園芸研究所

園芸作物では、堆肥に含まれる無機態窒素、リン酸、カリの速効性肥料成分を2%クエン酸溶液で抽出する分析法を明らかにしました。分析により得られた肥料成分濃度に基づき、堆肥を基肥として代替する施肥法は、慣行と同等の収量を維持しながら4～6割の肥料コスト削減が見込めます。

基肥を堆肥に含まれる速効性肥料成分で代替

速効性肥料成分として評価した無機態窒素、リン酸、カリのうち、最も含量の高い成分を栽培標準量だけ基肥として施用し、不足する成分については化学肥料の単肥で補います。この施肥法をレタス、ホウレンソウ、ネギなどの園芸作物でおこなったところ、牛、豚、鶏いずれの畜種を主原料とする堆肥を用いた場合でも、化学肥料のみで栽培した場合と同等の収量を得ることができます。

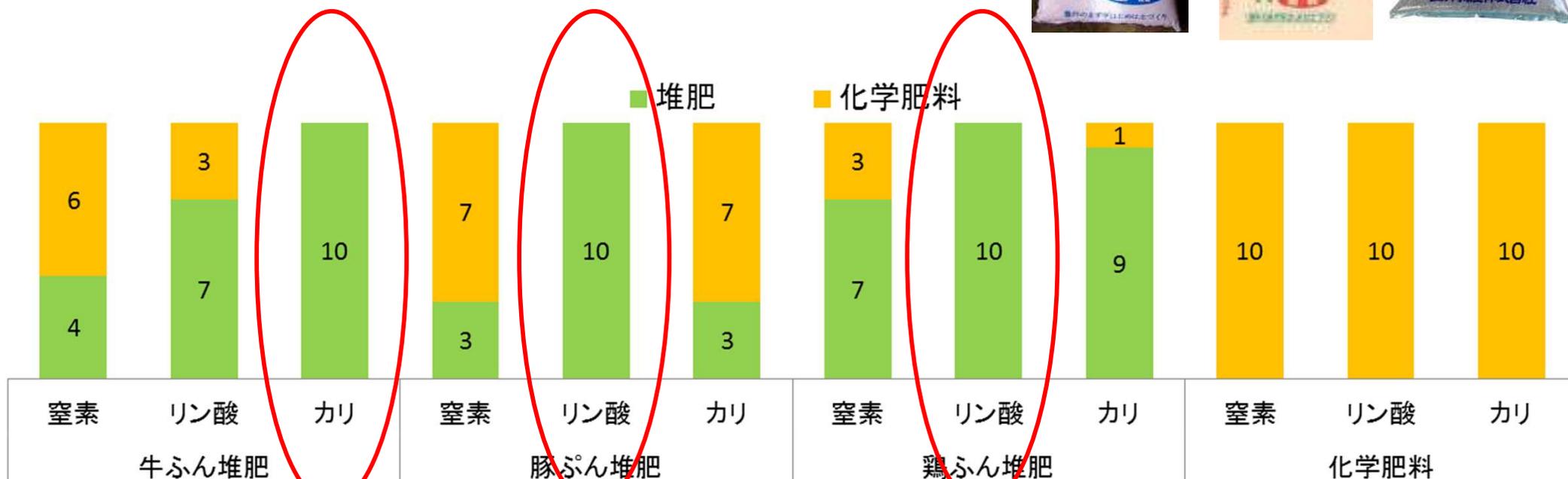


基肥を堆肥で代替する施肥設計の例

堆肥の肥料効果を考慮した施肥設計

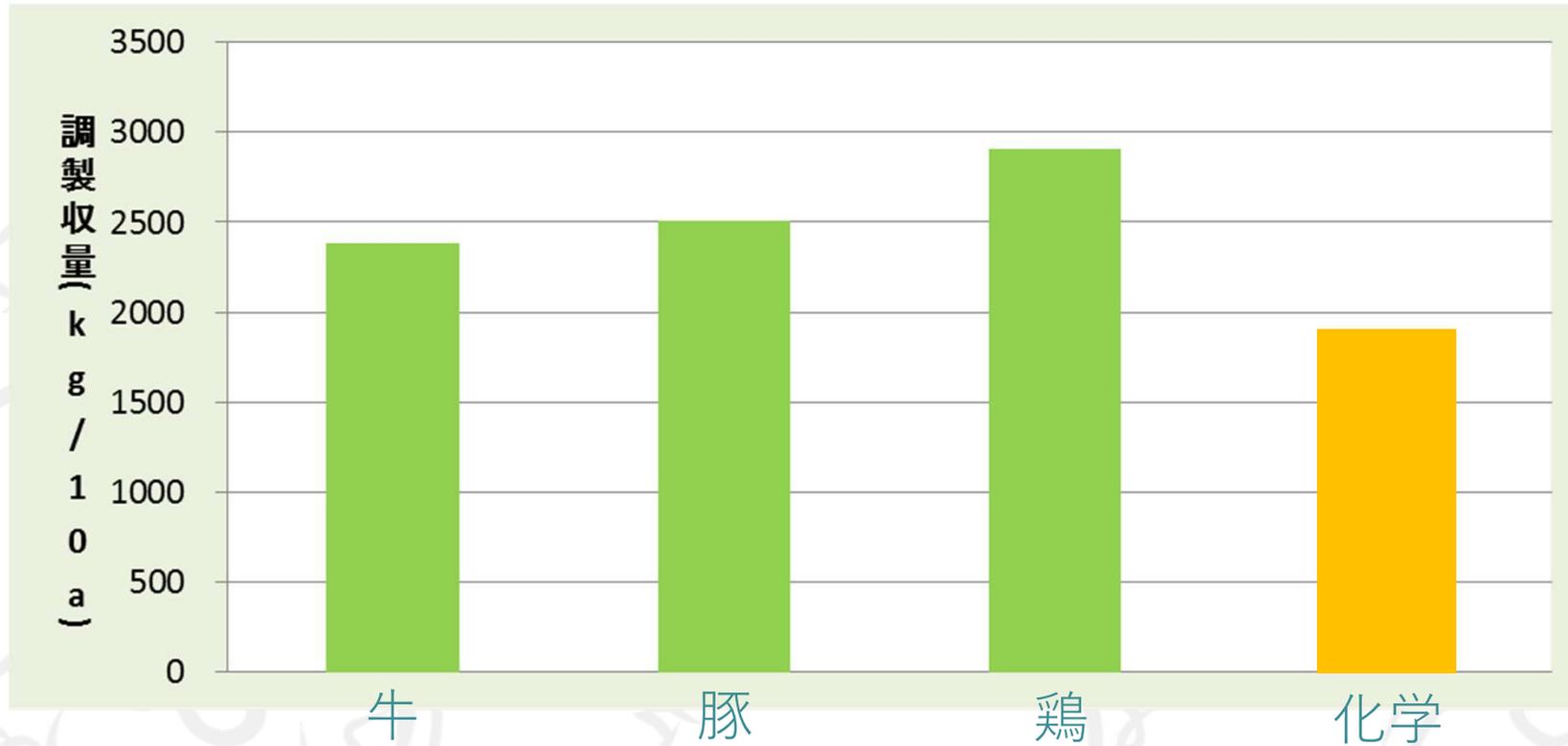
①堆肥の施用量は含量の高いものを基準に決める。

②含量の少ないもの(不足する成分)は、化学肥料で補う。



(例) レタスの施肥量 (kg/10a)

試験結果 秋冬レタス

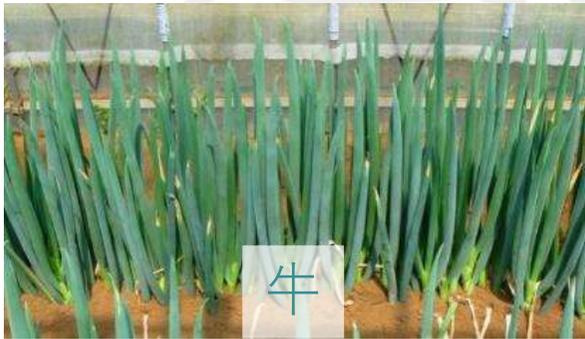
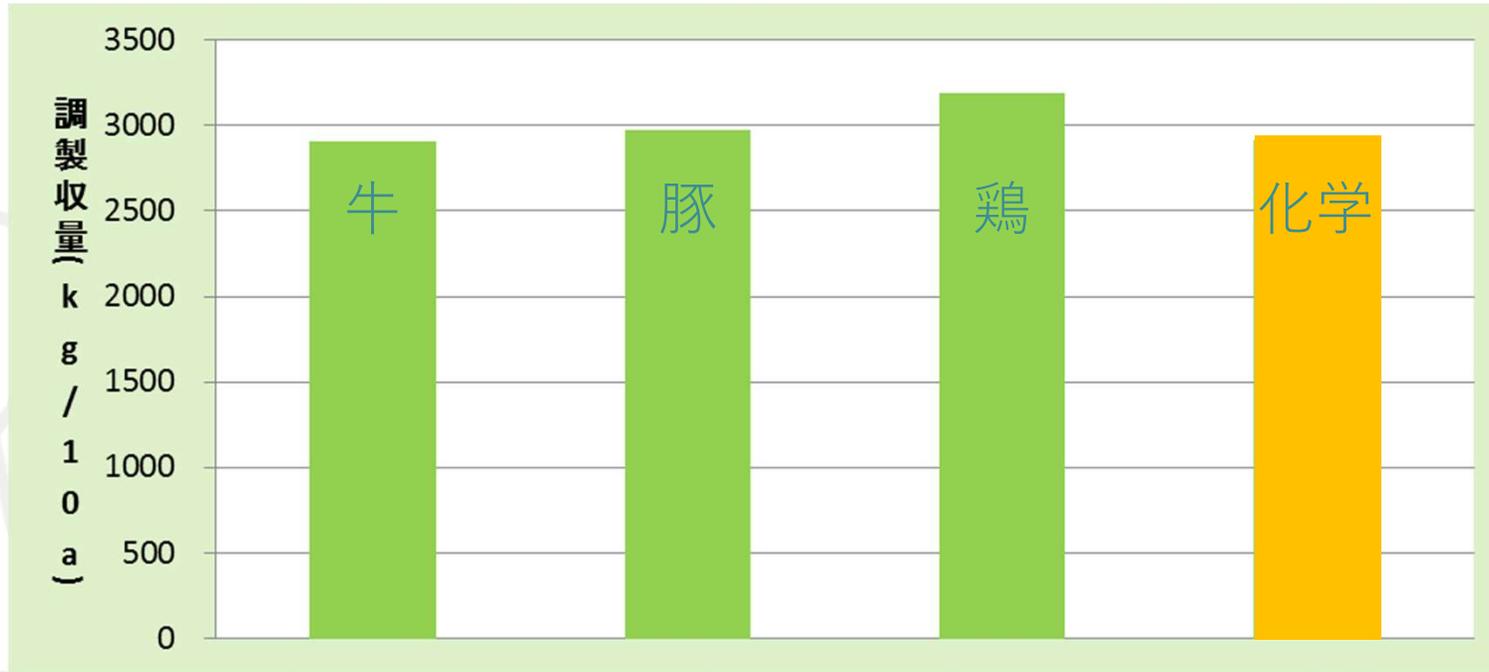


堆肥区の収量は化学肥料と同等以上!

試験結果 チンゲンサイ(夏作、冬作)



試験結果 初夏どりネギ



堆肥中リン酸、カリを指標とたし施肥体系の肥料費削減効果(N-P₂O₅-K₂O：40-40-40kg/10a年)

施肥体系	堆肥の種類	内訳	施用量 (kg/年/10a)	単価 (円/kg)	費用 (円)	合計 (円)
化成肥料のみ		高度化成	267	125	33,375	33,375 (100)
堆肥中 リン酸・ カリ + 不足分 化学肥料	牛ふん堆肥	堆肥	2,477	約3	6,669	21,280 (64)
		窒素肥料	184	60	11,040	
		リン酸肥料	29	125	3,571	
		カリ(不足なし)	0	0	0	
	豚ふん堆肥	堆肥	1,270	約3	3,920	18,170 (55)
		窒素肥料	175	60	10,500	
		リン酸(不足なし)	0	0	0	
		カリ肥料	30	125	3,750	
	鶏ふん堆肥	堆肥	865	約3	2,343	13,873 (42)
		窒素肥料	163	60	9,780	
		リン酸(不足なし)	0	0	0	
		カリ肥料	14	125	1,750	

注：高度化成はオール15(¥2,500/20kg) 窒素肥料は硫安(¥1,200/20kg)

リン酸肥料は重焼リン2号(¥2,500/20kg) カリ肥料は硫酸カリ(¥2,500/20kg)

指定混合肥料

- ・2020年の法改正により登録・届出済みの普通肥料や特殊肥料および農林水産省令で定める土壌改良資材であれば、原則自由な配合が認められる
- ・配合したのち造粒などの加工を行った肥料も届出制での生産が可能
- ・成分の不安定な特殊肥料を化学肥料で補った肥料生産が可能となり、施肥と同時に土づくりができる
- ・特殊肥料同士を混合したものについては指定混合肥料としてではなく「混合特殊肥料」として扱われる

エポックメイキングな肥料の開発・利用法

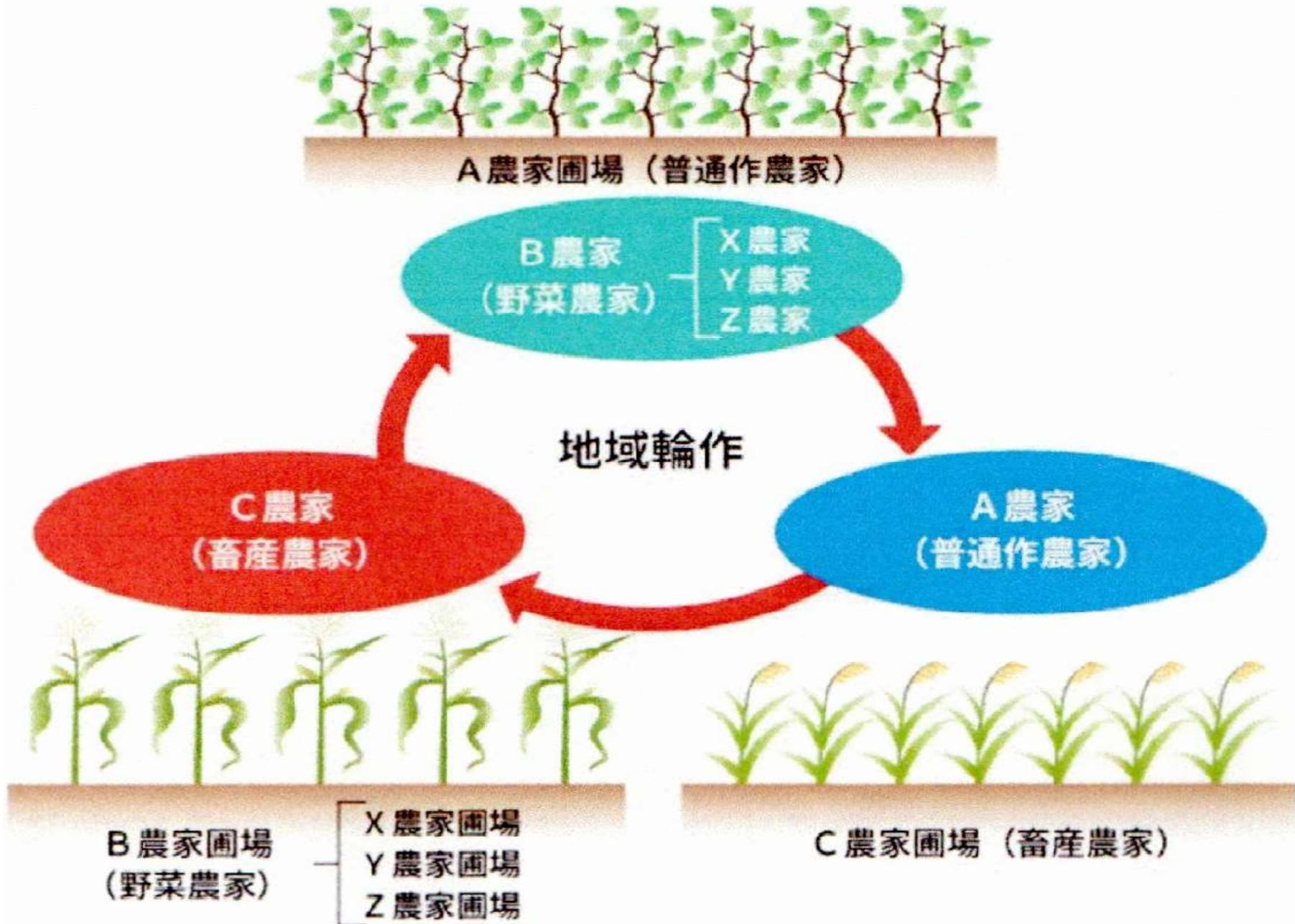
3) 輪作体系による耕地管理のシステム

- 野菜類は栄養生長期、生殖生長期に収穫されるため、跡地土壌にはそれまで生育を支えていた多量の肥料成分が残存する個々の作物に対する施肥管理ではなく作物の吸肥特性を加味した**農地に対する施肥体系および肥培管理**の確立が必要である
- 輪作を行うことは**耕地生態系に多様性**をもたせ、土壌のもつ種々の機能がリンクした形で高まり、病害虫への抵抗性も付与することになる
- 畜産農家も含めた**地域輪作（交換耕作）**が局所的な家畜ふん尿の農地還元を回避し、農業機械の設備も省力でき、低コスト栽培が可能になる

環境にやさしい農業は「土」を見せないことが基本

地域輪作

経営の異なる農家間での交換耕作をシステムとして管理する



主な緑肥作物の特性

(神奈川県:2004)

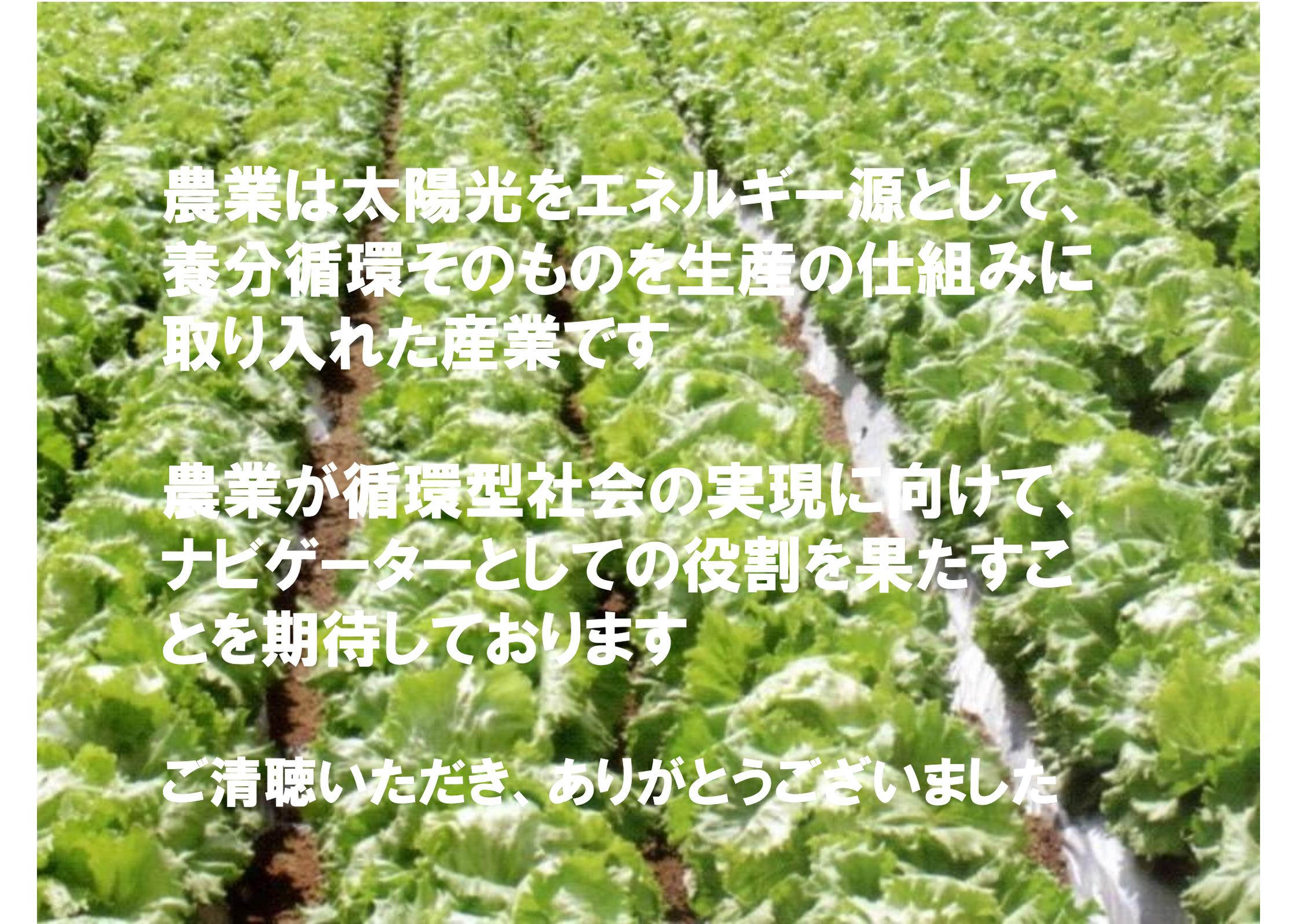
作物名	効果	C/N比	乾物収量 (kg / 10a)	養分吸収量 (kg / 10a)			窒素 取込or 放出
				N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
レンゲ	肥	15前後	300 ~ 600	7 ~ 15	1 ~ 3	5 ~ 10	放出
青刈りトウモロコシ	物・除	35前後	800 ~ 1400	20 ~ 30	3 ~ 5	50 ~ 90	取込
イタリアンライグラス	物	20前後	400 ~ 600	10 ~ 20	1 ~ 4	20 ~ 40	放出
ソルゴー	物・除	35前後	1000 ~ 3000	20 ~ 30	3 ~ 5	30 ~ 70	取込
ヘイオーツ	物・セ	20前後	800	20	3	35	放出
ギニアグラス	物・セ・除	18前後	1000	20	7	35	放出
クロタラリア	セ (ネコブ)	40前後	500	10	3	17	取込
マリーゴールド	セ (ネグサレ)	17	700	19	—	—	放出
ヘアリーベッチ	抑	18	600	16	5	7	放出
ナギナタガヤ	抑	55	900	7	3	12	取込

効果) 肥：肥料効果、物：物理性改善、除：除塩効果、セ：センチュウ密度抑制、抑：抑草効果

根圏層内における養分の循環

環境にやさしい農業とは土壌本来のもつ
多くの機能を最大限利用する農業であ

- 1) 土壌を環境資源として明確に位置づける
- 2) **土壌診断・栄養診断による適正な施肥管理**
- 3) **有機物還元容量に基づいた有用資源の積極的利用**
- 4) 混合堆肥複合肥料、指定混合肥料の開発利用促進
- 5) 緑肥作物を利用した養分循環の再生
- 6) 輪作体系に基づいた耕地管理のシステム化



**農業は太陽光をエネルギー源として、
養分循環そのものを生産の仕組みに
取り入れた産業です**

**農業が循環型社会の実現に向けて、
ナビゲーターとしての役割を果たすこ
とを期待しております**

ご清聴いただき、ありがとうございました