

肥料の種類と分類

肥料の歴史

土壌作物栄養学 14-1

普通肥料

- 窒素、リン酸、カリなどの主成分によって評価される性格の肥料
- 品質保全の必要性から公定規格が定められ、この規格にもとづいて登録を受けなければならない。保証分量や正味重量などを記載した保証書の添付なども義務付けられている。
- 成分などの記載事項に違反すると肥料取締法にもとづいて法的な処罰を受ける。

特殊肥料

- 米ぬか、魚かすなどの、農家の経験と五感によって識別できる単純な肥料、およびたい肥のような肥料の価値および施用基準が必ずしも含有分量のみに依存しない肥料をいう。
- 公定規格の設定や登録をうける義務や保証票添付の義務などがなく、その生産または輸入に際しては都道府県知事に届け出すればよい。

主要な化学肥料 窒素質肥料

- 硫酸アンモニア $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$
 - 合成硫酸 アンモニアと硫酸の中和により合成
 - 回収硫酸 ナイロン、酸化チタン等の製造過程で回収
 - 副生硫酸 コークスの製造過程で副生するアンモニアを硫酸に吸収させる。
- 塩化アンモニア NH_4Cl
- 硝酸アンモニア NH_4NO_3
- 硝酸ソーダ NaNO_3
- 尿素 $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$
- 石灰窒素 CaCN_2

緩効性窒素肥料

- 化学的加水分解型： イソブチルアルデヒド縮合尿素 IBDU
- 微生物分解型： ウレアホルム、アセトアルデヒド縮合尿素 CDU、グアニル尿素GUP、オキサミド
- 被覆肥料： イオウ、ポリオレフィン、アルギド、ポリウレタンなどで尿素、硫安、硝酸カルシウムなどをコーティングした肥料。
- 溶出期間は30日から360日。

リン酸肥料

- ペルー産グアノ：インカ帝国の先住民が長年にわたって使用
- 骨粉：リン酸肥料の元祖
- 有機質含リン肥料：米ぬか なたね粕
- 過燐酸石灰：最初は骨粉を硫酸で加熱処理して製造
イギリス ローズによる発明 1843
- 重過リン酸石灰：リン鉱石にリン酸を加えて製造。
- 熔成リン肥（ようりん）：リン鉱石に蛇紋岩などのマグネシウム鉱物含有物を混合したものを 1350°C ~ 1500°C で溶融して、これに高圧の冷水を接触させて急冷・水砕したもの。

カリ質肥料

- 硫酸カリ K_2SO_4
- 塩加カリ KCl
- 粗製カリ塩 $\text{KCl MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ を主成分とする
- 硝酸カリ KNO_3

肥料の使用法

化学的反応による分類

- 酸性肥料： 硫安、過燐酸石灰、重過石
- 中性肥料： 尿素、塩安、硝安、塩加カリ、硫酸カリ、チリ硝石
- アルカリ性肥料： 石灰窒素、溶成リン肥、焼成リン肥、石灰質肥料、腐熟下肥

肥料の配合可否(成分の揮散と不溶化による損失)

- アンモニア性窒素を含む肥料と化学的アルカリ性肥料を混合するとアンモニアガスを生じ揮散する。
- 水溶性リン酸を含む肥料に石灰・鉄・アルミニウムを含む肥料を混合すると、リン酸と反応し有効態リン酸が減少する。
- 有機質肥料に硝酸系肥料を配合すると、硝酸性窒素は還元され、ガス態となって損失する。
- 硝酸系肥料と化学的酸性肥料を配合すると、遊離硝酸を生じ、ガス態で揮散する。

肥料の配合可否 (物理的性情の不良化)

- 石灰を含有する肥料と塩素・硝酸を含む肥料を混合すると、吸湿性の強い塩加カルシウム、硝酸カルシウムを生じて、肥料が湿り、施用しにくくなる。
- 石灰を含有する肥料と硫酸根を有する肥料の混合は、石膏を生ずるため固結しやすくなり、取り扱いが困難となる。

有機質肥料と化学肥料の混合の効果

- 濃厚肥料や施用量のごく少ない微量元素肥料の均一施用。
- リン酸肥料と有機質肥料の混合
- 肥効の持続化

生理的反応による肥料の分類

- 肥料を土壤に施用し作物を栽培した後の土壤を酸性にするか、アルカリ性にするか、影響を及ぼさないかによって分類する
- 生理的酸性肥料： 硫安、塩安、硫酸カリ、塩加カリ など
- 生理的中性肥料： 尿素、硝安、硝酸カリ、過リン酸石灰、重過リン酸石灰など
- アルカリ性肥料： 石灰窒素、硝酸ナトリウム、溶リン、焼リン、堆肥、草木灰など

肥料の作物による利用効率

- 水稻：

窒素 30-60%、リン酸 5-10%、カリ 40-60 %

地力窒素への依存高い。

- 麦：

窒素 50-60%、リン酸 5-20%、カリ 40-60 %

肥料窒素への依存高い。

肥料の歴史 1. 自給肥料

- グループI 無機質の材料

森の土、マール（泥灰土：石灰石が一度溶けてそれがまた固まったもの）、川辺の土

- グループII 耕地の近くで得られる植物質の材料

落ち葉、海藻、野草、わら、草木灰、堆厩肥

海藻の利用（アイルランド アラン島、襟裳岬：砂漠化した沿岸地の再植林）

- グループIII 動物の排泄物

家畜家禽糞、蚕糞、人糞尿

肥料の歴史 2. 江戸時代の商品肥料

- 下肥 日本では1960年代まで主要な肥料。
東京の郊外電車は人糞を周辺の農村に運搬した。
下肥代金 天保14年 1843年1年間の米代の約4%
大正元年 1912年1年間の米代の約5%
- 植物油粕（エゴマ、菜種） 18世紀初め菜種の急速な普及
- 干鰯（ほしか：脂肪を絞った後のいわしを乾かしたもの。
日本の近海漁業を反映）
大阪が集散地 （棉花、藍、菜種の栽培に使用）

1714年大阪への入荷商品別銀高（上位5品目）

品名	銀高（貫）
米	42,659
木綿類	30,434
菜種	28,049
材木	25,751
干鰯	17,760

3. イギリスの産業革命と肥料

- 刃物産地 シェフィールド

刃物の柄に獣骨を使用 くず骨粉の肥料への転用

- 過燐酸石灰の発明

骨粉を硫酸処理

(ジョン・ベネット・ローズ)

ローザムステッド試験場の開設

4. 肥料鉱物資源の発見（窒素）

- 1) グアノ （ペルー沖の島嶼に産する海鳥の糞の堆積物）
ドイツ アレクサンダー・フォン・フンボルトが
南アメリカ探検(1799～1804)の際に発見。
- 2) チリ硝石
チリのアカタマ砂漠で発見（タドイス・ヘンケ）
成因は無機説と有機説がある。

5-1. リン鉱石 (生物起源)

- リン酸質グアノ (ナウル、クリスマス島)
- 糞化石 (爬虫類、哺乳類の糞の化石:イギリスケンブリッジ、フランス、ベルギー等で発見)
- 堆積リン鉱石 (海成リン鉱石)
海棲の脊椎動物 (鮫・鯨・海牛など)の骨や歯が海底に堆積し化石になったもの。フロリダ(1888)、チュニス(1873)、アルジェリア(1893)、モロッコ(1912)に産する。主成分はアパタイト (リン酸3石灰)

5-2. リン鉱石（非生物起源）

- 火成岩形成末期にできるアパタイト結晶
フッ素を多く含んでいる
ロシアのコラ半島 ブラジル ベトナム等で産出

6. カリ 鉍石

- 海藻灰 （クァリ：アラビア語）
- 草木灰 （pot ash → potash）アメリカの森林資源から生産
- 岩塩層の発見 ドイツ シュタッスフルト もともとは食塩層に付随する不純物

ドイツは第1次世界大戦終了まで唯一のカリ 鉍石生産国

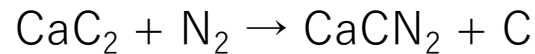
その後、アメリカ、ソ連、イタリア、カナダ、イスラエル、イギリスなど各地でカリ資源の発見と開発が行われた。

5. 空気中窒素の固定

1) 石灰窒素法：

生石灰とコークスに通電して2000°Cで熔融することによりカーバイドが作られる（1892年）。 $\text{CaO} + 3\text{C} \rightarrow \text{CaC}_2 + \text{CO}$

カーバイドを700-1000°Cで窒素と反応させることで石灰窒素が合成される（1901）。



2) ノルウェー硝石（電弧法）：

高電圧アークによって、窒素と酸素を反応させて二酸化窒素を合成し、これを水に吸収させて硝酸とする。さらにこれを石灰石と反応させて、硝酸石灰とする。

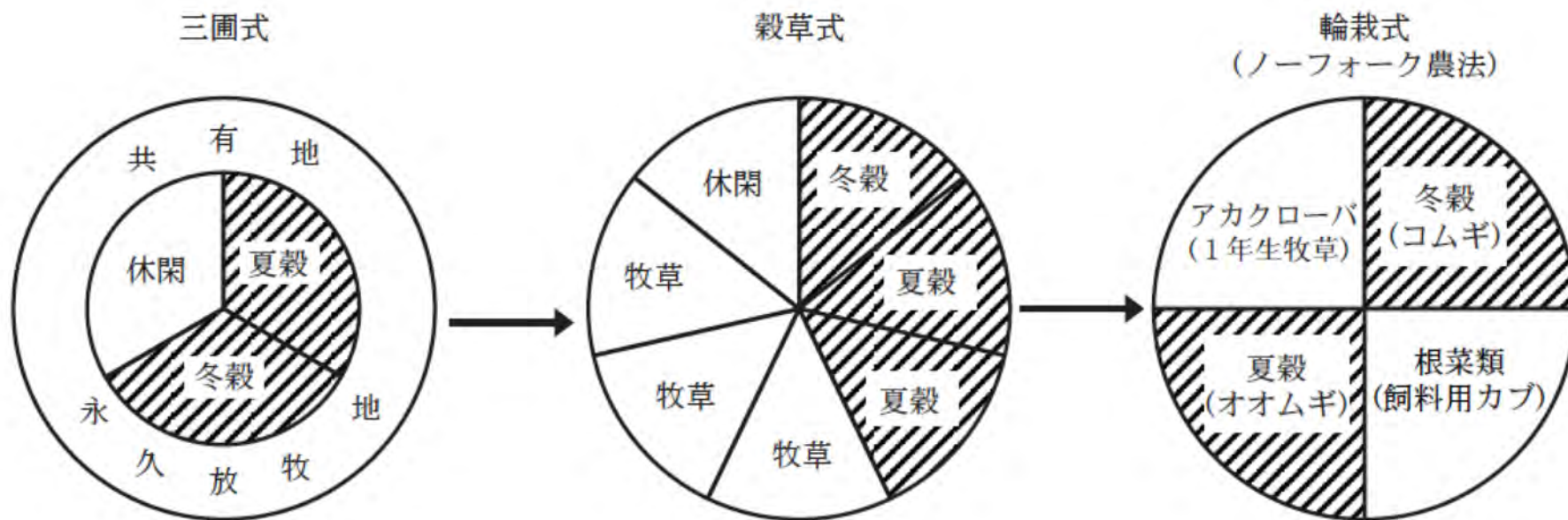
3) 合成アンモニア法（ハーバーとボッシュ）：

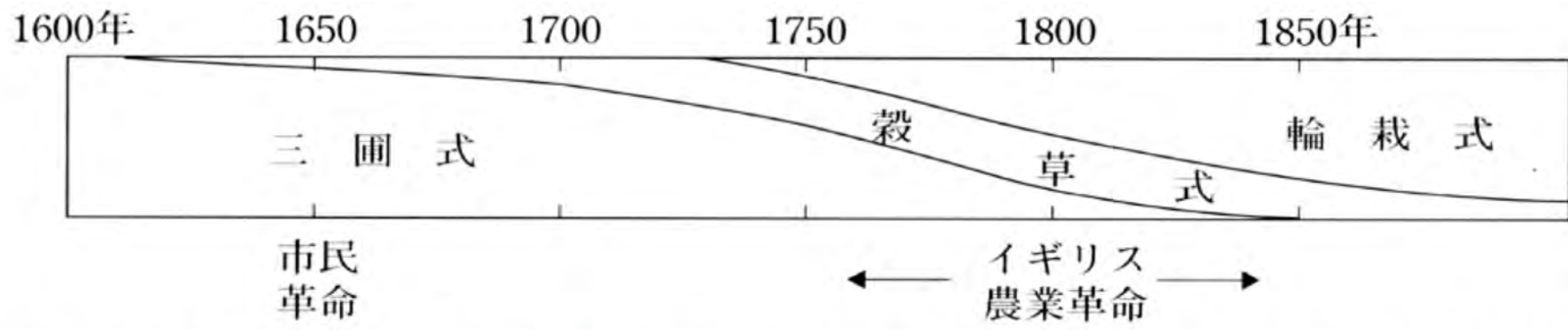
ハーバーは非晶質のオスミウムを触媒とし、窒素ガスと水素ガスを反応させ、アンモニアを合成した。550°C、175気圧で88%の収率。（1909年）

肥料の貢献

- 松中照夫: 化学肥料の登場から現在、そして未来 – 化学肥料が果たしてきた役割 – 農業と科学(2019)第708号、p.7-13 から抜粋。
- ジェイカムアグリ、農業と科学で検索

家畜ふん尿を養分移転材料として使用するという三圃式農法の考え方は、その後の穀草式農法にもうけつがれた。その後、イギリスのノーフォーク地方を中心に、当時としては最も集約的な4年輪作農法に発展していった。これが輪栽式農法、いわゆるノーフォーク農法である





冬穀（秋播き穀物）はコムギ，ライムギ。夏穀（春播き穀物）はオオムギ，エンバクまたはところによりソラマメ，エンドウなどを含む

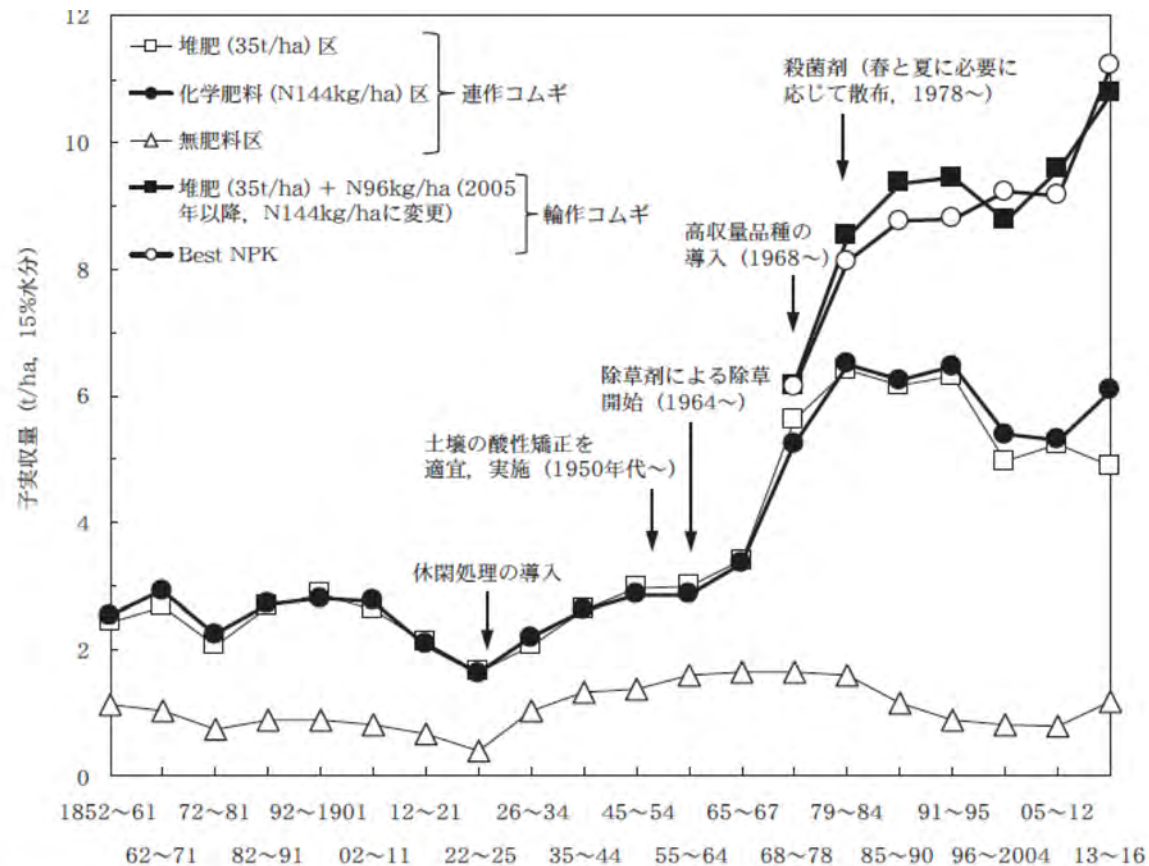
図 1. 各農法での土地利用方式の模式図とイギリスでの農法移行の時期
 （加用，1975の2つの原図を1つにまとめた）

ノーフォーク式農法からの発展

- ノーフォーク農法では、堆肥生産のために家畜を必要とし、その家畜の飼料生産のために耕地の2分の1が割り当てられている。しかし、飼料生産からは収益が直接上がらない。そこで飼料生産をやめ、換金作物を栽培して収益増をめざし、不況を脱出したいという要求が高まった。
- 家畜糞尿への依存から化学肥料の使用へ。
- ノーフォーク農業試験場での12年間にわたる長期輪作試験結果は、作物の収穫残渣（麦稈やテンサイ地上部）の土壌へのすき込みに化学肥料を併用すれば、堆肥無施用でもオオムギやコムギの子実収量を堆肥施用区とほぼ同じに維持できることを明らかにした（Rayns and Culpin, 1948）。

ローザムステッド長期試験が示したこと

- 1843年に開始された小麦栽培試験では、化学肥料区の小麦の子実収量は堆肥区と大差がない。現在の最高収量は9t/ha にまで増えた。
- 化学肥料を適切に使用し続けるのであれば、その肥効は確実に作物生産に悪い影響を与えるものではないこと。



- 注1) 堆肥区: 35t/ha, 化学肥料 (N144kg/ha) 区: N3-P-K-Mg=144-35-90-35kg/ha, Mgは3年に1度施用。
 2) コムギの栽培は, 試験開始から1925年まで連作。連作障害がみられ始めたため, 1926年に休閑処理を導入。その後, 原則として1年休閑4年連作で栽培。
 3) 1968年以降に導入された輪作体系は, エンバカートウモロコシーコムギーコムギーコムギの5年輪作。
 4) 輪作コムギの「Best NPK」は, 輪作コムギに対するN施用量を変えた化学肥料区のうちで, 最多収処理区の収量を各期間で平均した値。

図2. 堆肥もしくは化学肥料だけで育てたコムギの子実収量の変化
 (ローザムステッド農試, ブロードボークコムギ試験)

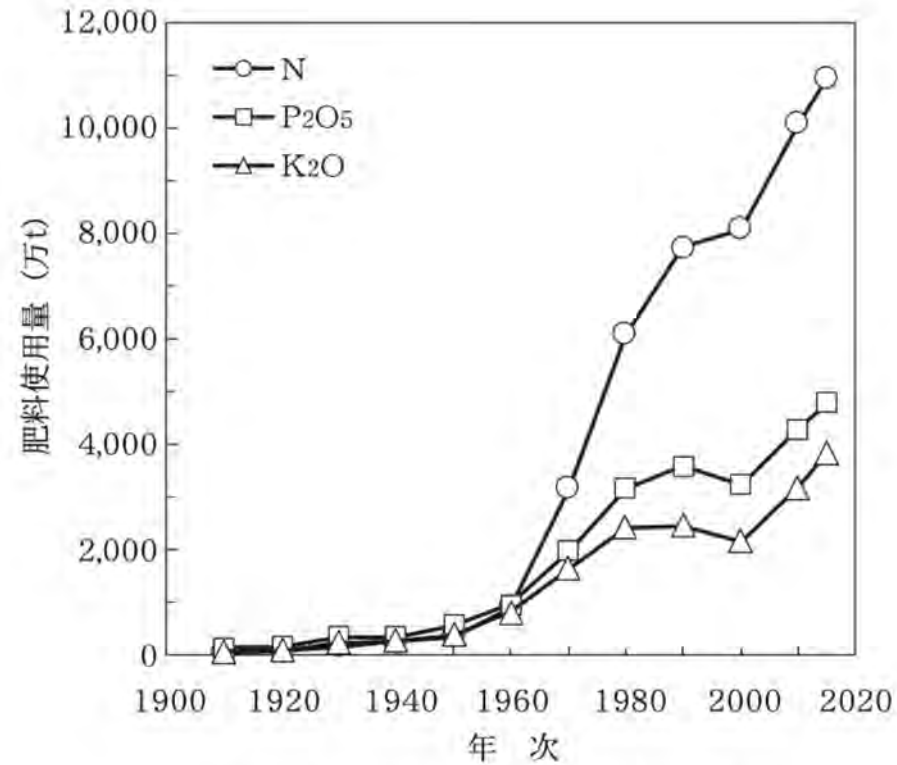
長い試験期間の間に、休閑処理の導入（1年休閑4年連作1926年～）、土壌の酸性矯正（1950年～）、除草剤の使用開始（1964年～）、高収量品種の導入と新しい肥料配合率の採用（1968年～）、殺菌剤の散布（1978年～）など栽培方法の変更を経ているが、化学肥料区（N 144kg/ha）の小麦の子実収量は堆肥区と大差がない。

化学肥料の使用は土壌中の微生物数へも大きな影響は及ぼさなかった。

表 1. 堆肥, 化学肥料の長期連用とコムギ畑の
土壌生物数 (Russell, 1973)

計測方法	無肥料区	化学肥料区	堆肥区
細菌数			
全細胞数 ($10^9/g$)	1.6	1.6	2.9
平板法 ($10^6/g$)	50	47	67
糸状菌数			
菌糸片数 ($10^6/g$)	0.85	0.94	1.01
菌糸長 (m/g)	38	41	47
平板法 ($10^6/g$)	0.16	0.26	0.23
原生動物数			
全動物数 ($10^3/g$)	17	48	72
活性動物数 ($10^3/g$)	10	40	52

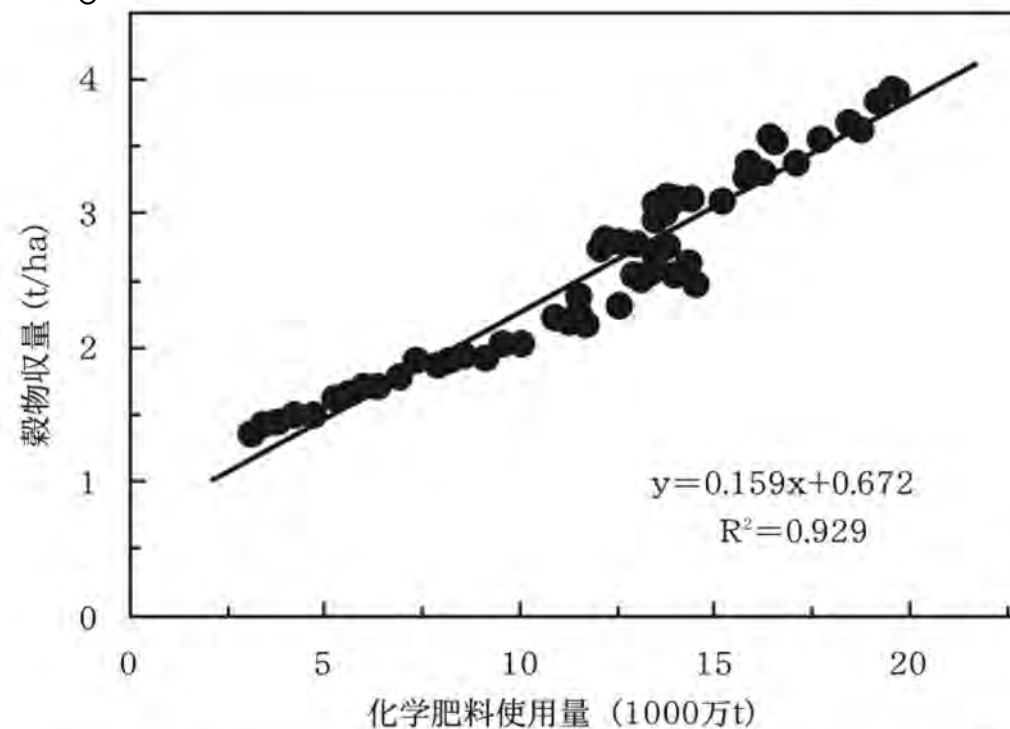
20世紀以降の世界の化学肥料使用量の推移



1910~1960年は高橋 (2004), それ以降は,
FAO (2017a, b) のデータから作図

図 4. 20世紀以降の世界の化学肥料使用量の推移

穀物の単収の増加を支えたのは、見かけ上化学肥料使用量の増加であった。



(1960年から2015年までの各年における穀物収量と化学肥料使用量のデータ (FAO, 2018a, b, c) から作図)

図5. 世界の穀物収量と化学肥料使用量との関係

化学肥料の未来。資源の有限性。

- ハーバー・ボッシュ法によるアンモニア合成には、化石燃料という有限のエネルギー資源が必要である。
- リンやカリウムにしても、原料になる鉱石はいずれも有限の資源である。最近の調査(US. Geological Survey, 2018)から計算したリン鉱石の採掘可能年数はおよそ260年でしかない。
- カリウム鉱石の採掘可能年数も同様に290年である。それゆえ、化学肥料依存の食料生産が持続的でないことは明らかである。

化学肥料の未来。農業と人類の未来。

- 資源循環を維持して環境を保全しながら、なおかつ豊かな食生活を保証する農業をどう実現するのか、この難題が私たちに提起されている。
- 気候温暖化の問題も同様。