



放射線物質の影響を受けた土地の植生管理 ： 科学・技術・背景

Hildegarde Vandenhove

Belgian Nuclear Research Centre, Environment Health & Safety
hvanden@skcen.be

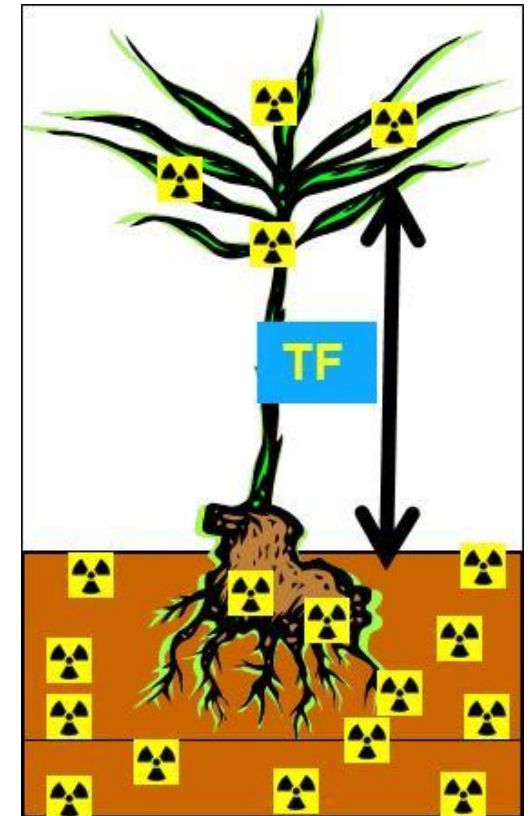
事故後の食品安全科学 NEA国際ワークショップ
2016年11月8-10日、福島市

成功する浄化戦略の基準

浄化を必要とする汚染の基準・分類	技術オプションの有効性	各技術を実行する際の制約	浄化の各段階で生じる廃棄物、各廃棄物の管理オプション、それらの利用可能性
実行中の被ばく放射線量	各技術で起こりうる副次的効果	コスト/ベネフィットの考慮	利害関係者の意見

食物連鎖への移転を制限することを 目的とした対策に基づく植物管理

$$\text{移行要因}(TF) = \frac{\text{作物中の濃度}(\frac{Bq}{kg})}{\text{土壌中の濃度}(\frac{Bq}{kg})}$$



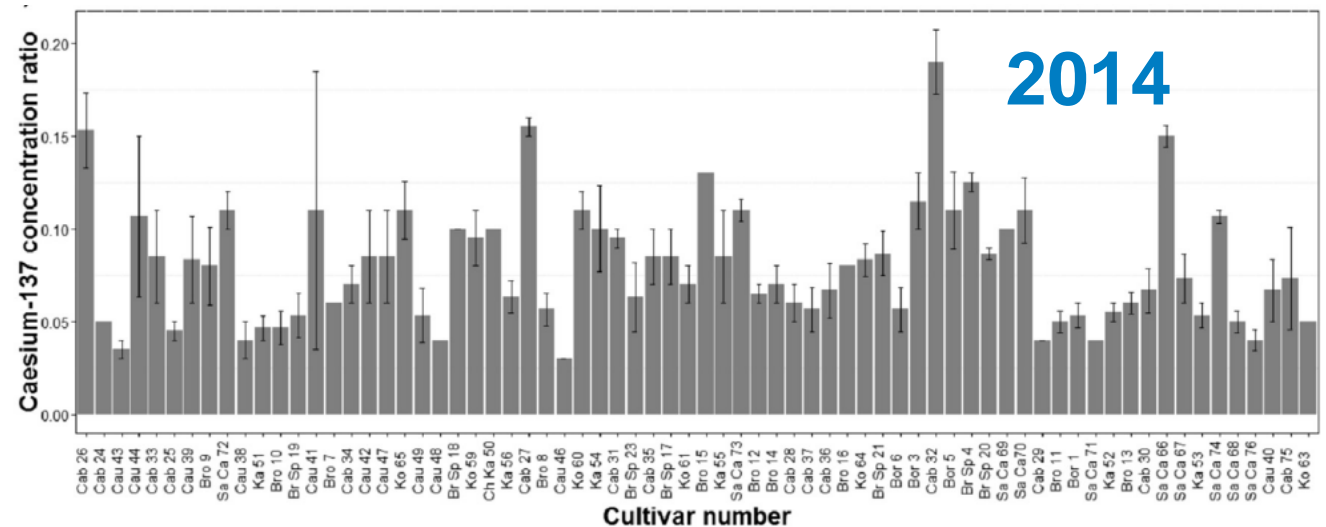
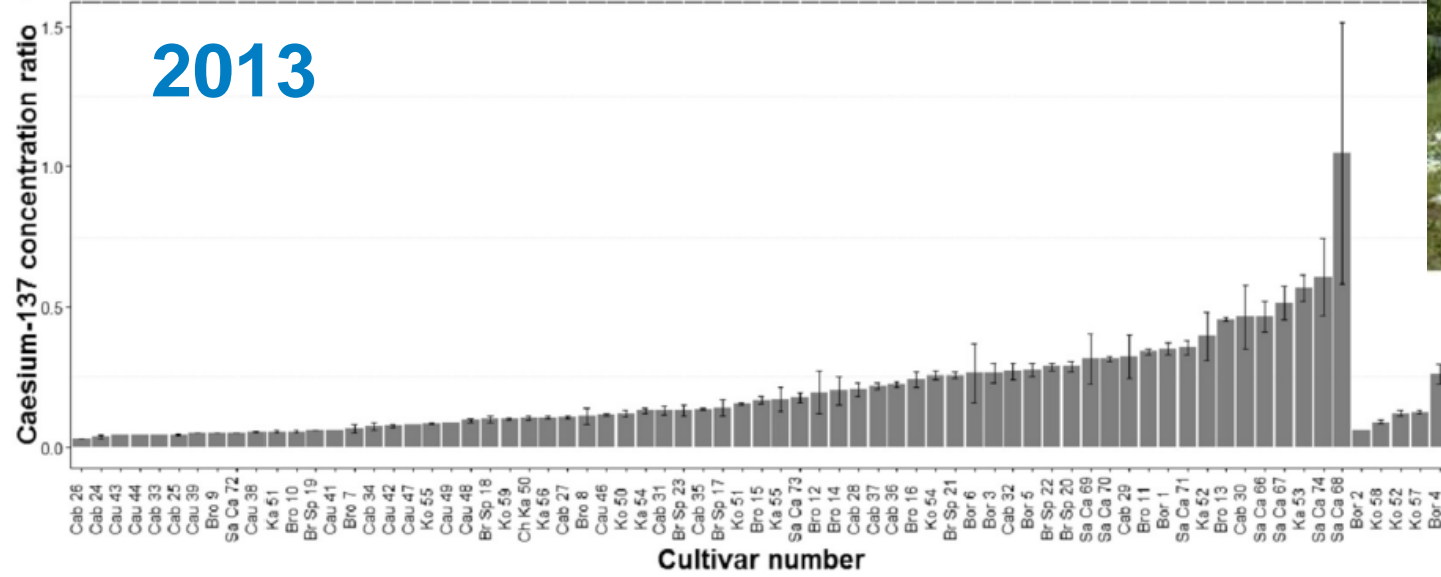
食物連鎖への移転を制限するための対策 作物の選択

変更	減少係数	社会的・経済的影響
同じ作物内の別な品種	2-4まで	とても小さい
異なるが類似する作物	2-3まで	小さい
青野菜から穀物	係数 5まで	大きい
穀物から食用の工芸作物 例: 油糧種子、テンサイ	> 係数10	小さい
穀物から非食用の工芸作物 例: 亜麻	係数10 – 100	小さい ↔ 大きい
牧草地・放牧場の根本的な改善	係数2-10	小さい
耕地や畜産システムから森林	>> 係数100	極めて大きい

同じ作物内の別な品種: C70アブラナ属の種のための伝達因子で35倍変動



a)



持続的に低いTF
をもつ5種

作物利用の代替案 – 家畜飼料としての食用作物

- 家畜の飼料用: 食料に関する限界値は100ベクレル/kg
 - 「汚染された」食物をヒトに提供するよりは、汚染飼料を動物に与えるほうが心理的に受容されやすい。



ノブオカ(2015):

「重大な放射能汚染を受けた地域では、米を家畜飼料として使えるよう、粳殻付きの飼料米の放射能レベルを100ベクレル/kg未満（ゼオライトとカリウム施用後）にするべき」

植物除染: 永続的な神話



Natural News.com

植物除染: 土の中で放射線を除去できる植物を育成できる。

Sunday, June 19, 2011 by: J. McDonough-Horton



TUESDAY, 9 AUGUST 2011

ひまわりが福島放射性土壌を癒すかもしれない。

福島では、ひまわりの種が放射線フリーの将来を期待させている。

農業省はどれぐらい植物が汚染された土を浄化するかをテストし、いくつかのNGOもひまわりの植付キャンペーンを後押ししてきた。中西氏はこの取組を「ナンセンス」と述べ、このような植物除染はわずかな量の放射性同位元素しか吸収しないと議論を起こしている。土壌・地下水浄化の専門家である東北大学の井上氏は、このような植物除染の試みは価値があるが、仮に機能したとしても、放射性の植物をどう処分するかの問題が残る、と述べている。

年次収穫量の除去率 << 1 %

$$\text{年間の除去率(\%)} = \frac{C_{plant} \times \text{yield}}{C_{soil} \times W_{soil}} * 100 = \frac{TF \times \text{Yield}}{W_{soil}} * 100$$

TF: 0.001-1

収穫量: 15 ton/ha (~max)

収穫量/土=0.01

土: 1500 ton/ha
(10 cm)

作物における年間の除去率(\%) < 0.001 – 1%

^{137}Cs の衰弱による“年間の除去率” : ~3 %

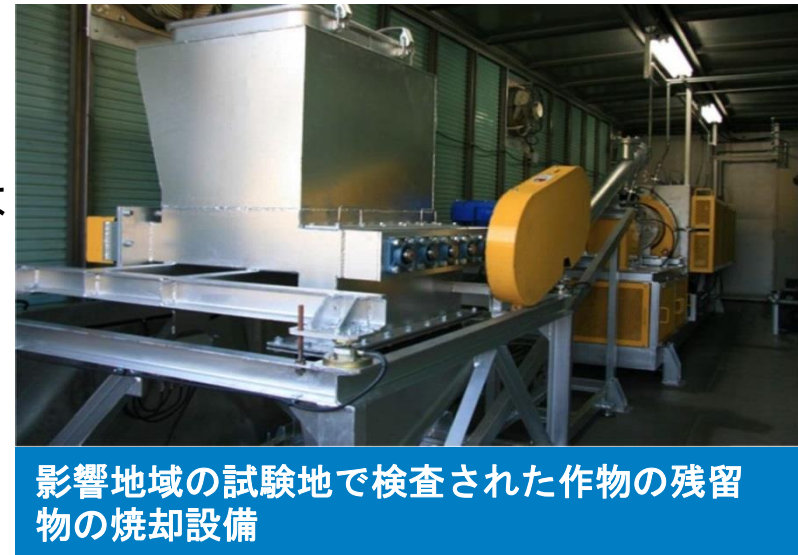
植物による放射能浄化の例 (日本)

- IAEA (国際原子力機関)* が2011年、植物による放射能浄化の現地調査について報告 → 土壌中セシウム137の0.05 %が植物に吸収される
- 栽培植物**を利用して、さまざまな土壌中の放射性セシウムを植物で浄化
 - 4種の植物 (ヒマワリ、ソルガム、アマランサス、ソバ) と2種の土壌
 - 最大の吸収能力を示したアマランサスで、吸収は1%未満
 - 淡色黒ボク土: 0.013– 0.93% 吸収
 - 灰色低地土: 0.007–0.038% 吸収



植物による吸収についてその他の考察

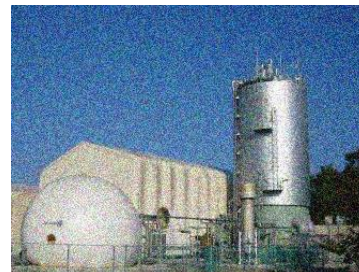
- 予想される吸収能力の低下
 - 老化 → TF値 (移行係数) が低下し、それにより時間とともに植物の吸収効率が下がると予想
 - 一般にTF値が高いとバイオマスは小さい
 - 収穫量 = 15トンdw/ha = ~最大収量
 - → 遺伝子工学を利用して植物浄化の実現は困難
- 廃棄物
 - 輸送
 - 大量の廃棄物が発生
- 大きな投資
 - 植物による吸収を実現するには、長年にわたり毎年作物を植える必要がある
 - 高い収穫量を得るには十分な土地管理が必要 (肥料など)
 - 作物を収穫することで、最低限の利益を上げるべき



食物生産が危険にさらされた地域における 土地利用の代替案

● バイオ燃料作物

- 汚染されたバイオマスの発酵で得られるバイオガス
- 燃焼
 - 汚染された木、ヤナギ、ススキ属など
- 液体バイオ燃料
 - 菜種からのバイオディーゼル、テンサイからのバイオエタノールなど



● 繊維作物

- ロープ、紙、防熱材用
- 麻、亜麻、ラミーなど



土地に強い圧力がある場合、一般に代替作物はあまり発展させられない

汚染された土地に (一定の) 価値を与える方法

● 燃焼/ガス化

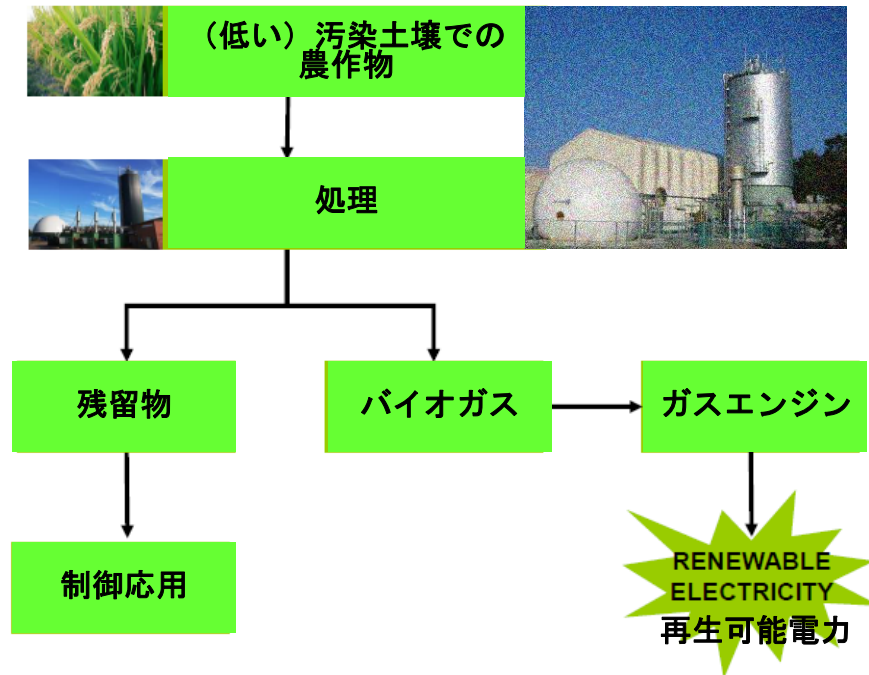
- 液体バイオ燃料よりもエネルギー効率が
高いが、乾燥したバイオマスが最適
- 排ガスの除去、放射能が灰に濃縮
- 例: 短伐期ヤナギ栽培 (SRC)、ススキ属
など

● 液体バイオ燃料

- バイオエタノール (例: テンサイ、コム
ギ、スイートソルガム)
- バイオディーゼル (菜種油)
- 競争力が弱い

● 発酵

- 湿潤バイオマス、クリーンな排ガス



繊維作物は多くの用途に活用可能

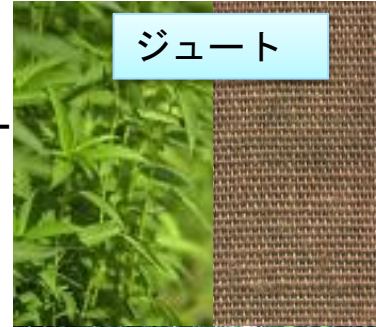
麻の収穫 (長野)



ラミー

- 産業用大麻 (アサ *Cannabis sativa*)
 - 紙、布、ロープ、断熱・建築材、ネコ用トレーなど
 - 麻の実油: 洗剤、石鹼、化粧品
 - 日本では栽培が制限
- ジュート繊維 (例: コウマ *Corchorus capsularies*)
 - カーテン、椅子カバー、カーペット、ラグマット、ヘシアंकロス、リノリウムの材料
- ケナフ (*Hibiscus cannabinus*) (高知大学)
 - ロープ、麻糸、粗布、断熱材など (+再生可能エネルギー)
 - ケナフ種子油は化粧品、工業用潤滑油、バイオ燃料生産に利用される
- ラミー (*Boehmeria nivea*)
 - 工業用縫糸、梱包材、漁網、濾布
 - 植物由来の環境に優しいバイオプラスチック (トヨタ・プリウス)

ジュート



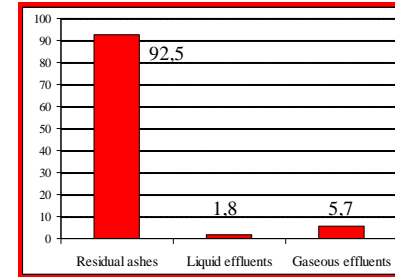
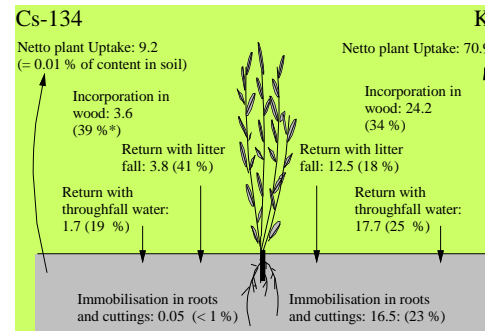
ケナフ



土地利用代替案の実現可能性評価のために: 求められる総合的アプローチ

● 放射線生態学

- 生産・変換過程における吸収とその成り行き (廃棄物、最終生産物)
- 短伐期ヤナギ栽培 (SRC) とバイオ燃料作物はよいが、繊維作物についてはほとんど情報がない



● 線量測定

- 作物生産、変換、輸送、廃棄物管理中の線量

● 農業の実現可能性

- 作物の条件、作物栽培の条件

● 変換施設

● 経済性

- 生産、変換、廃棄物処理

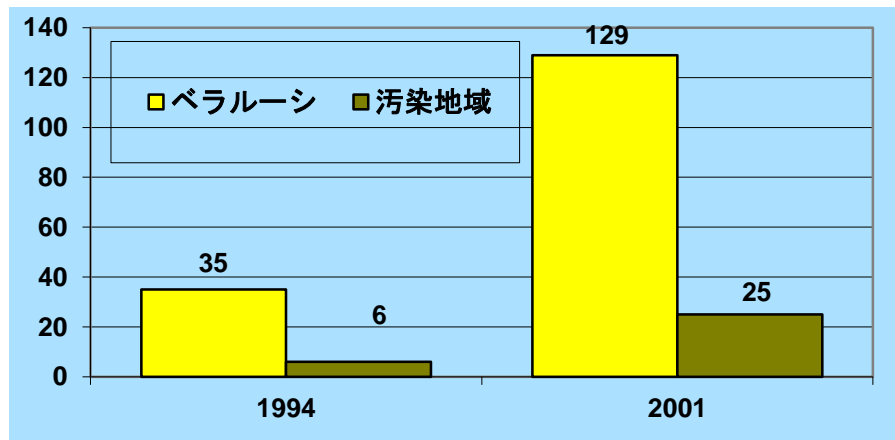
● 国民の理解 (受容)

- 例: 文化への精通、最終生産物への不信任感

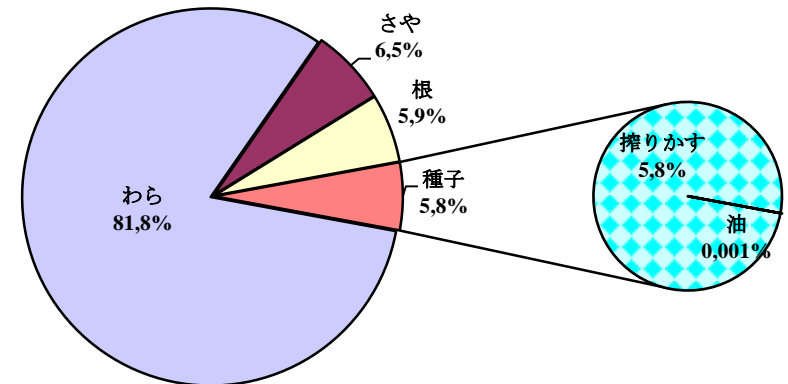


チェルノブイリ影響地域における代替 (エネルギー)作物

- 菜種・ヒマワリ・亜麻の原油から食用油を精製するのはありふれた技術だが、放射性核種を油から取り除ける。
- 穀粒を小麦粉 (小麦粉と粃殻) にする過程、あるいはテンサイから砂糖 (砂糖と搾りかす)、すなわちバイオエタノール (エタノール) を作る過程にも応用できる。ほとんどの放射性核種は2次生産物すなわち副産物内にとどまる。
- 菜種の生産と食用菜種油にする過程は利益をもたらす技術である。



ベラルーシの菜種播種面積 (千ヘクタール).



春まき菜種のバイオマス中のストロンチウム90の配分



ベラルーシのバイオ燃料生産に向けた チェルノブイリ影響地域の利用可能性

メリット

- バイオ燃料作物に適した汚染地域が5万5000ヘクタール
- バイオディーゼル生産のための技術力がある
- 国内外の市場ともに潜在的に可能性がある
- EUが確立した持続可能性の基準に適合する可能性

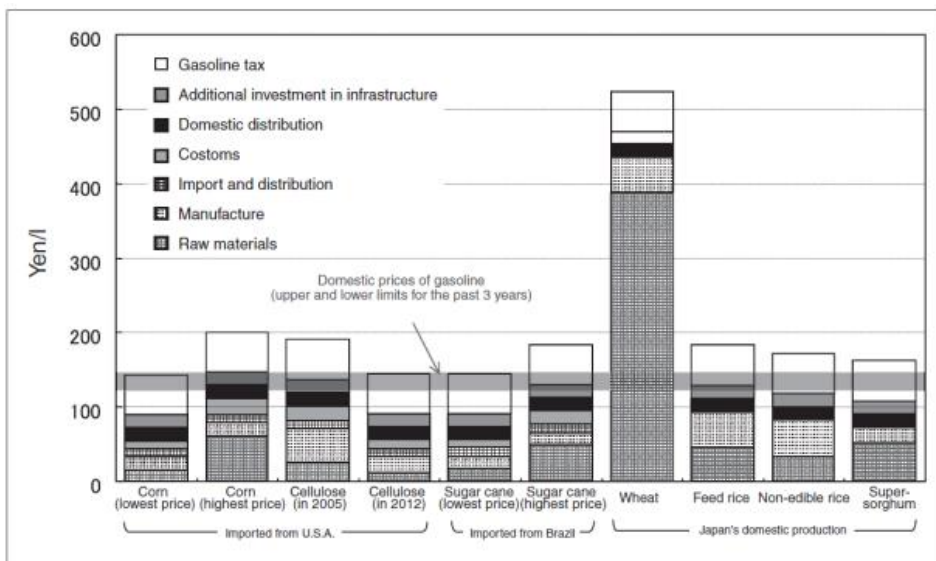
デメリット

- 需要についてはごくわずかな地域しかない
- 土地の準備にかかるコストが高く、土地が分散している
- 農業省、非常事態省が不賛成
- 汚染廃棄物の処理が困難
- 作業者が被ばくする可能性
- 経済的なコストが望ましくない

発達の遅れる日本でのバイオ燃料作物

- 日本: 食料自給率はわずか40% → 440万ヘクタールの耕作地のうち、利用されていないのはわずか27万ヘクタール → 日本はバイオ燃料を確立しようという意向は限られている

バイオ燃料の現地価格は競争力が弱い



- 津波の被害地域を修復するための菜種

菜種生産

↓ 60年台以降

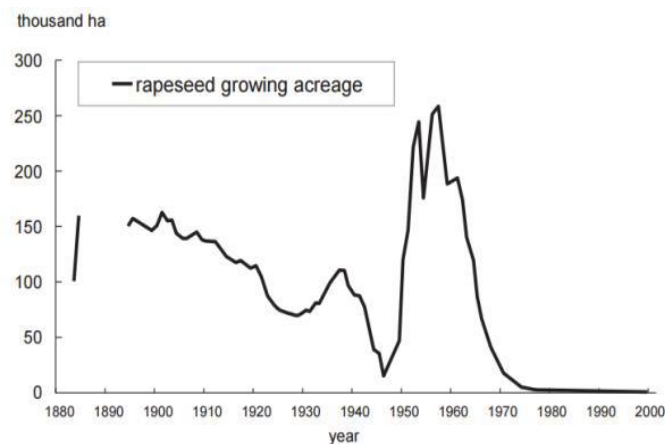


Fig. 1. Trend in rapeseed growing acreage

Source: Ministry of Agriculture and Fisheries (MAF) Handout of Soy and Rapeseed (Daizu-Natane ni kansuru Shiryou) (1965), MAF, Ministry of Agriculture Forestry and Fisheries (MAFF) Crop Statistics (Sakumotu Toukei) (each year)

非土壌ベースでの（植物）管理オプション

水耕栽培による 食糧生産



二毛作

Dual harvest
(Image: Rob Gilhooly)



シイタケ農家



浄化修復の社会経済的・政策的側面

- 事故後の復興は、技術的な集約を要する課題である
 - 科学的・社会的な不確かさ、さまざまなリスク認識、専門家間での意見の不一致、社会的な信用問題
- 放射線医学的な実現可能性の基準以外の要素を考慮する
 - 対策の受け入れ(容認)、倫理や環境の考慮、空間的な変化、都市の人々・田舎の人々・産業界で需要が異なることも重要である。
- 利害関係者を巻き込む必要性
 - 事故により脚光を浴びた復興活動に利害関係者を巻き込む利益
- 対策の全体的な実現可能性
 - たとえ食用の製品でないとしても(例: バイオ燃料、繊維)、最終製品中に含まれる(非常にわずかな)放射性核種をエンドユーザーがどう認識するかによれば影響される。

- 影響地域の価値を安定させ、経済的な潜在能力を復活させるための、持続可能な方法を見つける努力を続ける
- 対策は持続可能でなければならず、放射能汚染の少ない農産物が、利益をもたらしながら自給可能な形で生産できる必要がある。
- 植物管理の選択肢
 - 例えば、吸収が少なく収穫量が高い作物種を選ぶことで最適化できるかもしれない
 - 代替的に土地を利用することは、汚染された農地を将来的に復興させる可能性をもつアプローチだが、総合的な研究を必要とする
 - 土壌を(直接的には)基盤としない植物管理のアプローチ(温室での土壌あるいは水耕栽培)は、汚染地域を復興する上で新しい大きな可能性である。