



2016.05.23

水の安全保障戦略機構／第14回基本戦略委員会

話題提供

水・エネルギー・食料の総合的な安全保障戦略  
「亜臨界水技術」が果たす役割

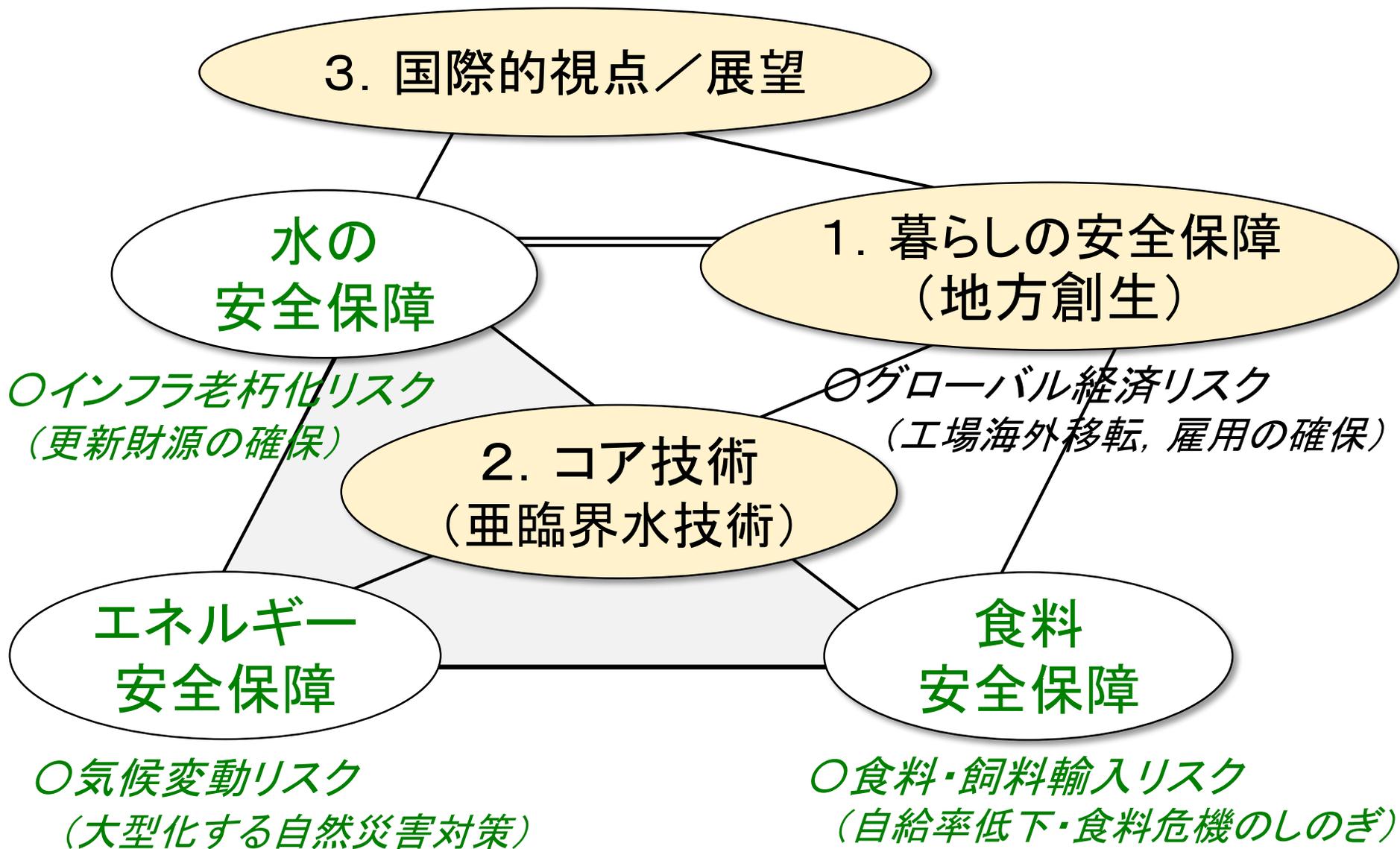
中央大学 研究開発機構教授

(土木学会地球環境委員会顧問)

松下 潤

# 1. 水・エネルギー・食料の安全保障総合戦略

## 「亜臨界水技術」がコア技術として果たす役割



# 要旨：水・エネルギー・食料の安全保障総合戦略

## (1) 日本の国家基盤の揺らぎ，暮らしの安全への不安

- ・グローバル経済リスク＝工場海外移転，雇用消滅，人口縮減
- ・三つの過剰＝土地（農地と宅地），インフラストック，建築物

## (2) 水・エネルギー・食料の安全保障総合戦略の必要性

- ・「水の安全保障」＝水循環再生，水源地の経済再生策
- ・「エネルギーの安全保障」＝再生可能エネ，気候変動リスク対策
- ・「食料の安全保障」＝食料自給率向上，肥料・飼料安定確保策
- ・包括的な「暮らしの安全保障」＝地方創生／雇用確保の必要性

## (3) 日本発／先端的な亜臨界水技術が果たす役割

- ・資源循環＝高機能性堆肥生産．良質木質飼料生産を実現。
- ・都市ごみ投棄問題に苦しむアジア諸国へのソリューションの提供。
- ・近未来の世界のリン肥料枯渇／飼料不足打開に向けた切り札。

# 日本の課題: 拡大するグローバル経済リスクが震源

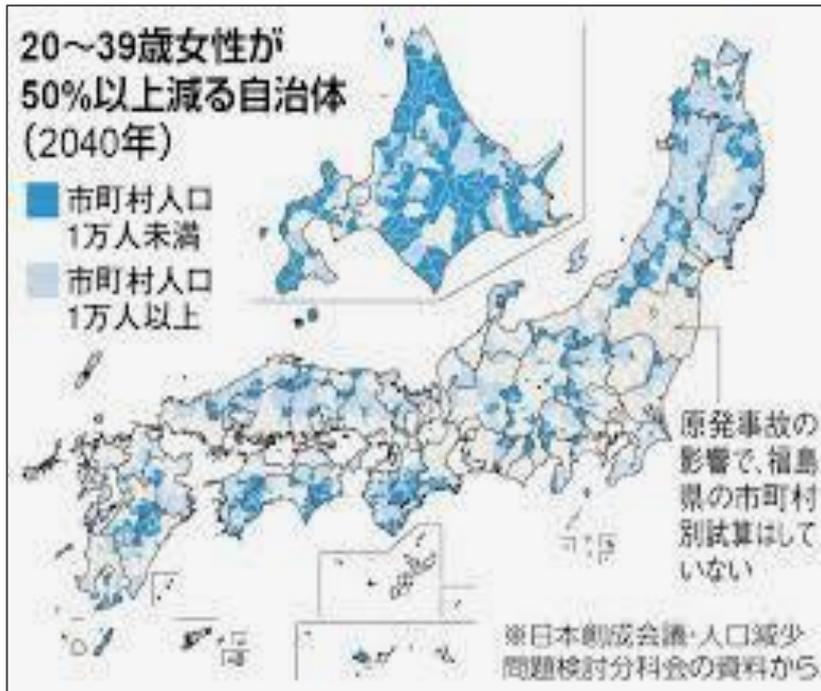
【地域産業創生による雇用確保／暮らしの安全保障が喫緊の課題】

工場の海外移転→現役世代の流出→自治体消滅の怖れにまで

○総人口の減少＝2040年までに2,100万人／16%の減少)

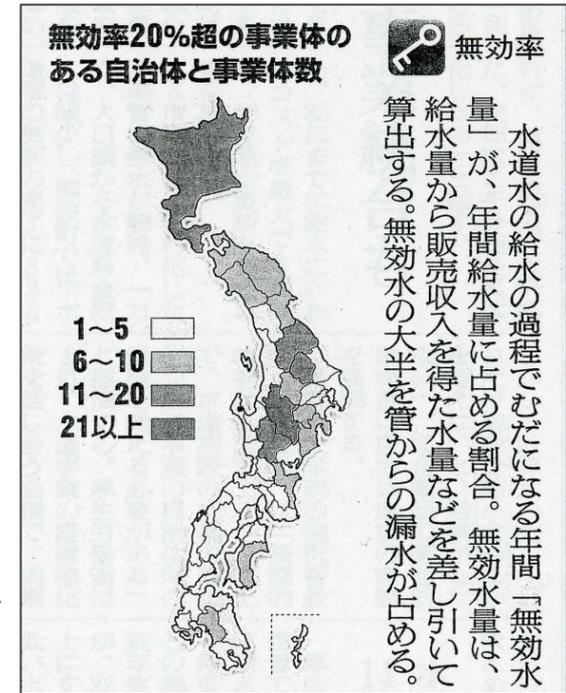
○現役世代(15-64歳)の減少＝2040年までに240万人／9%減少

○消滅自治体＝896箇所(日本創生会議:自治体総数の凡そ半数)



(右図)  
水の安全保障  
との接点\_\_\_\_  
無効水量の増加  
地方都市の人口減少に伴い、水道料金収入が減少。補修財源不足で、管路が老朽化。

出典:朝日新聞記事  
2016.01.04



# 2. 課題解決に向けて／「(仮称)ふるさと産業革命」

## 【亜臨界水技術がエンジン・5000億円資源循環産業の創生】

**【地域資源活用拠点】**  
雇用確保＝暮らしの安全保障

バイオマス系

カーボン系

**【高収益型農業の実現】**

- 有機農業・無農薬環境農業
- 再生可能エネルギー

**【地方創生・雇用確保】**

- 高付加価値型新素材生産拠点

資源循環  
食ループ  
形成

高効率  
メタン発酵  
(発電)

高機能性  
堆肥生産  
事業

【産学連携】  
事業化推進ネット

キノコ菌床  
生産事業

ナノセルロース  
ファイバー  
(NCF生産)

高質  
木質飼料  
生産事業

- 【林・畜産業連携】**
- 飼料自給率アップ・
  - 経営基盤の安定化

**【エンジン役の技術】**  
亜臨界水技術

**【原材料＝カーボン系廃棄物】**  
地域における各種の未利用木質材  
(放置林・間伐材・製材所木くず等)

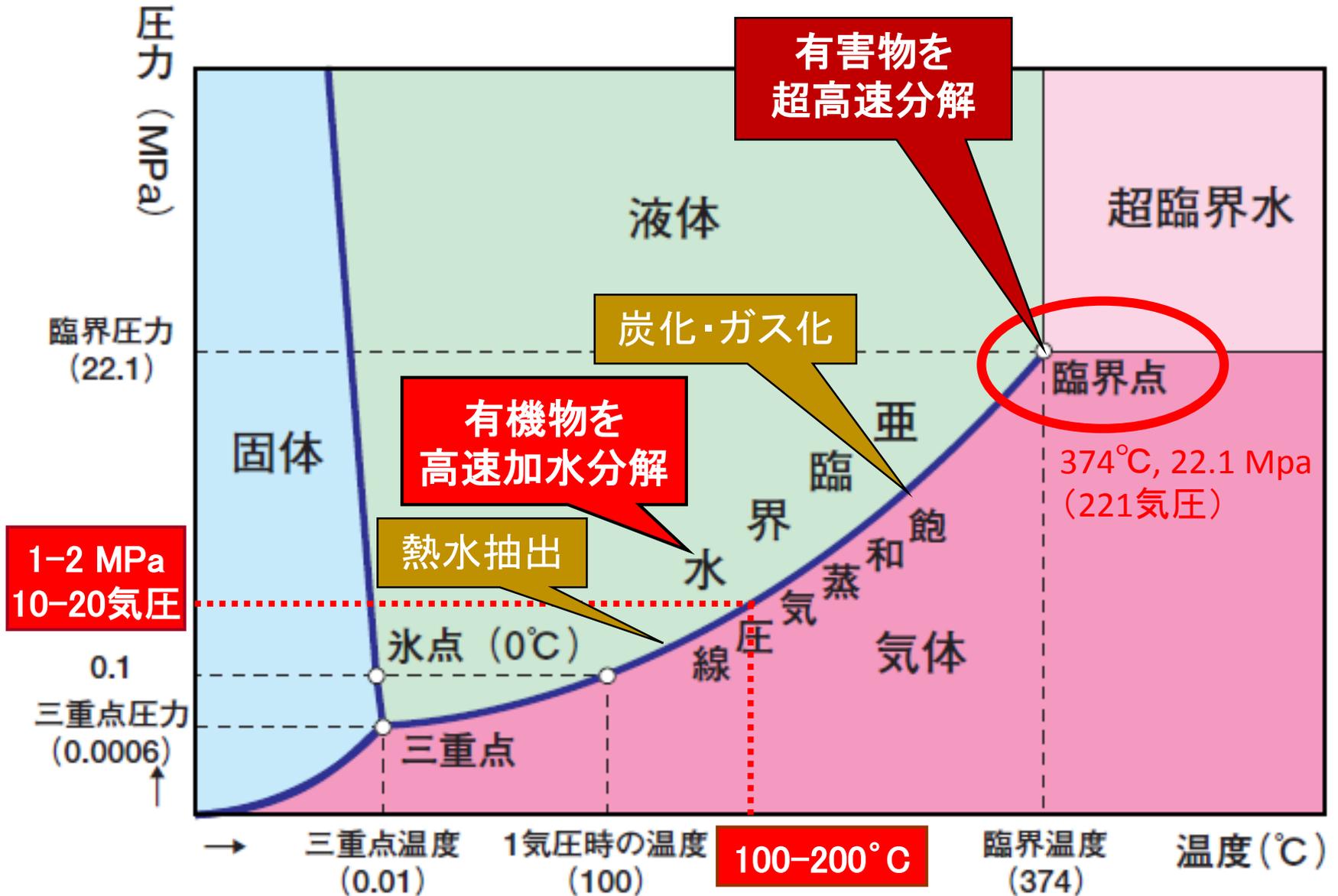
**【原材料＝バイオマス系廃棄物】**  
生ごみ・食品残渣・家畜糞・下水汚泥・  
医療系廃棄物・プラスチック混合物等

**【資源循環の実現】**

- 高コスト焼却技術の転換
- 海外技術輸出  
(埋立投棄の転換)



# 解説：亜臨界水技術 VS 超臨界水技術



# 各論①: 高機能性堆肥生産モデル(バイオマス系)

## 【台湾・宜蘭県】

### 【地域のバイオマス廃棄物】

- ・鶏糞, 廃豚
- ・食品残渣



日最大処理量

20 ton/日 (6,000 ton/年)

→ 埋立て投棄の禁止



### 【民間ビジネス】

(地元資本・2009年に起業)

### 【放線菌発酵プロセス】

(自然発酵)

60-70°C, 発酵時間=約10日  
高機能性堆肥生産を実現



↓ (2m3 反応槽@2基)

### 【高速加水分解プロセス】

亜臨界水反応装置

(150°C・13気圧@15分)



一次成品(無菌)



微生物農薬効果



機能性堆肥販売



二次成品(放線菌発酵)

# 各論②: 都市ごみ資源循環モデル(雑芥系)



## 【亜臨界水処理実験】

- 圧力槽(2m<sup>3</sup>タイプ)
- 180°C@15気圧
- 処理時間20-30分



## (左) 典型的なアジアの都市ごみ埋立投棄地

- この種の「埋立投棄」を持続することは難しい。
- 「焼却方式」はコストが高く、現地に適合しにくい。
- 「亜臨界水技術」は、合理的なコストで都市ごみを資源循環できる。(ランニングコスト≒3円/kg)

# 各論③：白樺チップ飼料生産モデル(カーボン系)

## 【北海道・北見市】



**牛の飼料に シラカバ材**

「北見市産の産業廃棄物処理エースクリン中井英太郎氏は、シラカバのチップ材を高温高圧の状態で、肉用牛の飼料を作ることに成功した。輸入飼料よりコストが安く、地産地消を推進する効果が期待。黒毛和牛への給餌試験も開始し、2017年の普及を目指す。」

この飼料はシラカバの枝を砕き、含有繊維材を調整して特殊な圧力容器に入れ、200度、13気圧の水蒸気で数十分加熱して作る。水蒸気が木材の一部を分解し、牛が消化しやすいものになるという。肉用牛の飼育には配合飼料に加え、肉を柔らかくするたね(添加物)を調整するが、通常は、シラカバ飼料は肉用牛の飼育には使われていない。繊維質が1000gほど多い研究を通じて、進行性材料は現在の遺伝子改良品種よりも有効活用にもつなげよう。北見市の肉用牛牧場「未来ファーム」で試験的な給餌が行われ、14ヶ月から1年間、黒毛和牛にシラカバ飼料を与える試験を実施。シラカバ飼料は「キャラメル」のような甘い香りで、牛が好んで食べた。牛の成長の速さや、毛質も従来の飼料と比べて優れていたという。

現在、道内産のチップは供給が足りず、不足分は中国産から輸入している。シラカバ飼料が本格生産に入れば、輸入飼料よりも2割程度安く供給できるといわれている。

中井英太郎氏(左)と未来ファームの中野亮巳社長(右)が北見市で。

シラカバから作った畜産飼料を手にとるエース・クリンの中井英太郎(常務)と未来ファームの中野亮巳社長(北見市瑞野町)。

「輸入飼料の高騰や、環境問題への対応が安全安心な飼料として、シラカバ飼料は安価な地元産という安心要素も一要素。将来はシラカバ飼料を主としたシラカバ和牛のブランド化も構想する。エース・クリンの中井英太郎常務は「これからの畜産には安全な飼料が求められる。シラカバ飼料は安全安心な飼料として、シラカバ飼料は安価な地元産という安心要素も一要素。将来はシラカバ飼料を主としたシラカバ和牛のブランド化も構想する。」

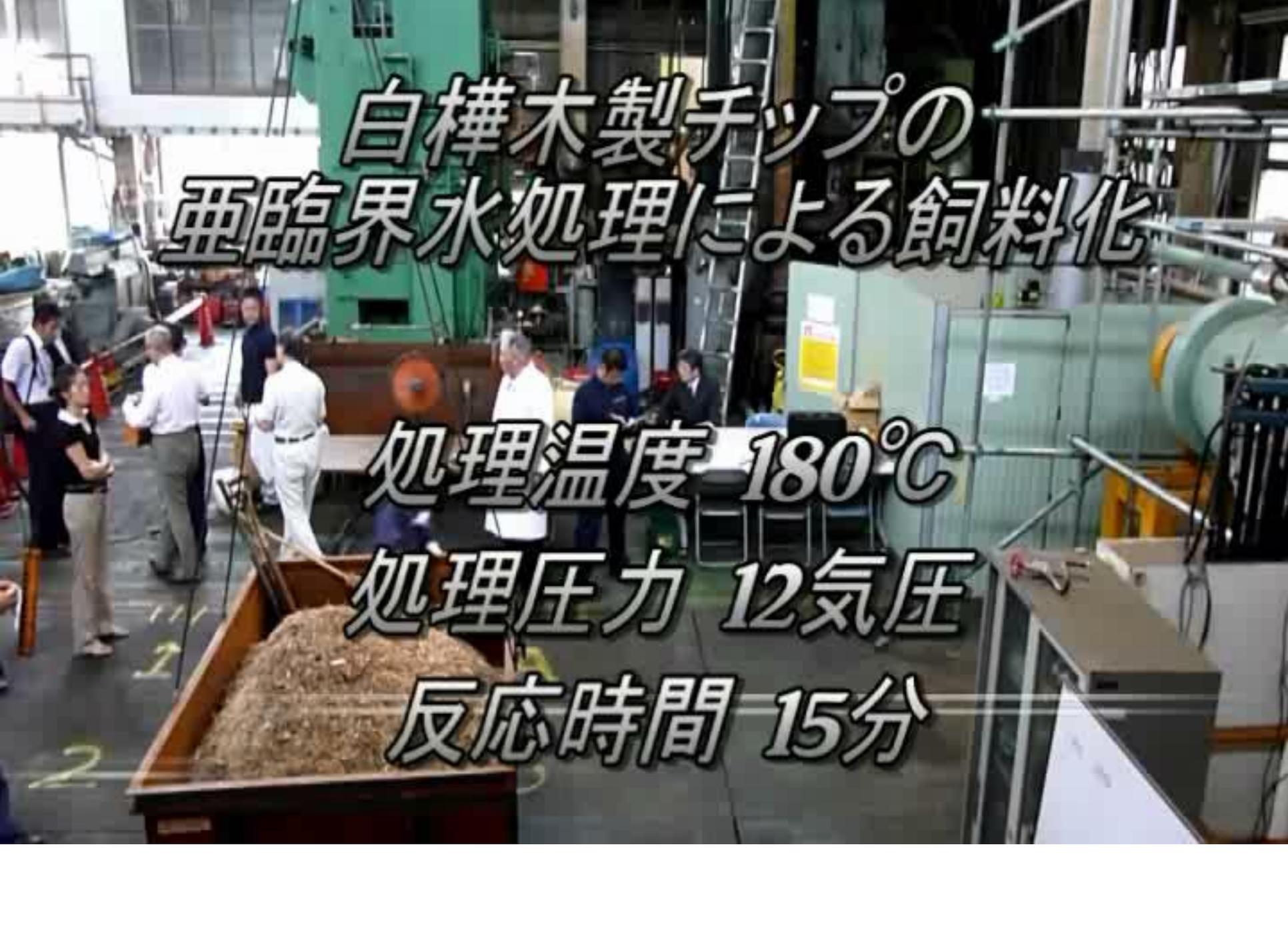
北見の会社 事業化へ

道新1月18日付

【北海道新聞】  
2016.01.18付け記事

地元で調達、低コスト 甘い香り「好評」

- 【黒毛和牛飼養実証実験の成果】**
- 安全・安心できる木質粗飼料を供給
  - 輸入粗飼料コストと比べ4割安価
  - 優れた品質
    - ・セルロースが糖化，牛の好む甘酸っぱい香り
    - ・可消化成分TDN=32%（うち3/4が繊維質）
    - ・PH=3.5 長期保存が可能。
  - 増体重効果
    - ・従来飼料=0,53kg/日，新木質飼料=0.58kg/日



白樺木製チップの  
亜臨界水処理による飼料化

処理温度 180°C

処理圧力 12気圧

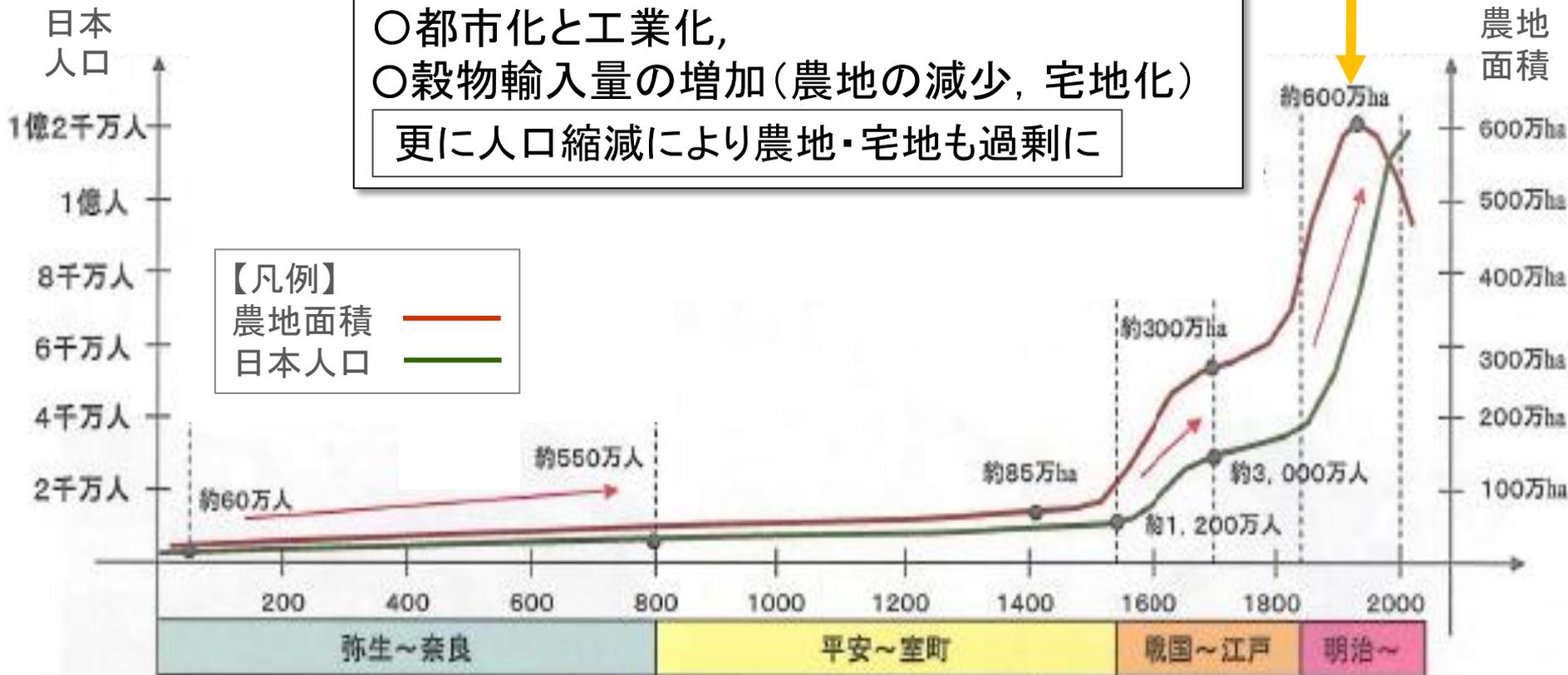
反応時間 15分

# 3. 国際的な視点／将来展望

## 【ジャパン・シンドローム(レスター・ブラウンによる)】

### 【第三期】歴史的な大転換期

- 都市化と工業化,
  - 穀物輸入量の増加(農地の減少, 宅地化)
- 更に人口縮減により農地・宅地も過剰に



(布村明彦氏の原図をもとに作図)

### 【第一期】古代の農業国家成立期

- 小河川流域単位の小規模水田開発

### 【第二期】近世～新農業国家成立期

- 大河川と用水路整備, 大規模国土開発
- 鎖国社会(エネルギー・肥料・食料自給)

# 視点①: 世界の食料過不足度(国別比較)

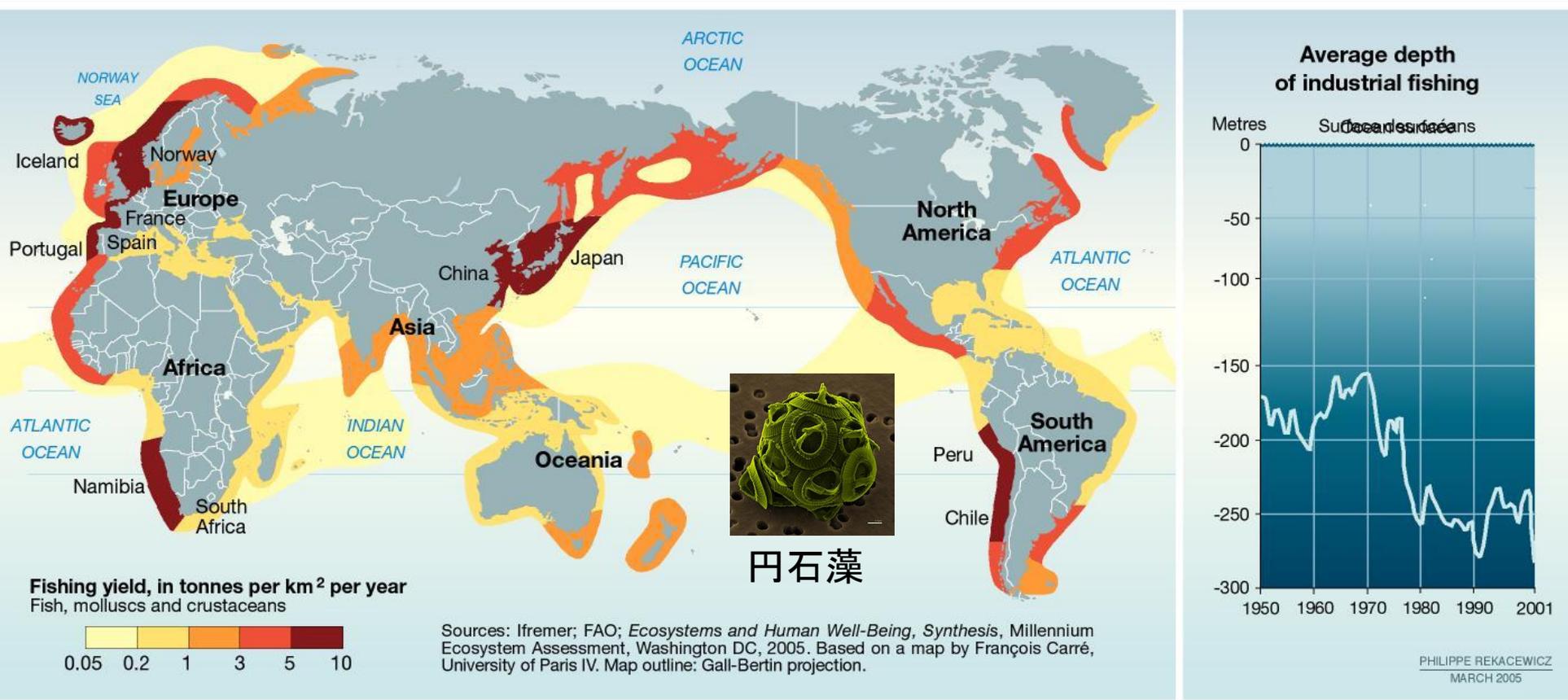
## 【アジア各国にジャパ・シンドロームが浸透】

出典・情報提供: WFP国連世界食糧計画



# 視点②: 世界の漁獲量比較図(単位面積当たり)

【良好な漁場は限定的／では、養殖漁業は？】

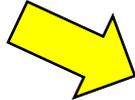
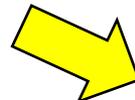
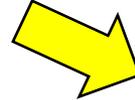
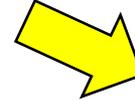


○頭打ちの漁獲量(漁業水深の増大傾向, 海の酸性化の影響等)

○養殖漁業も、中期的には飼料不足で伸びしろが少ない。

# 視点③: 破綻に向かう世界の食料需給構造

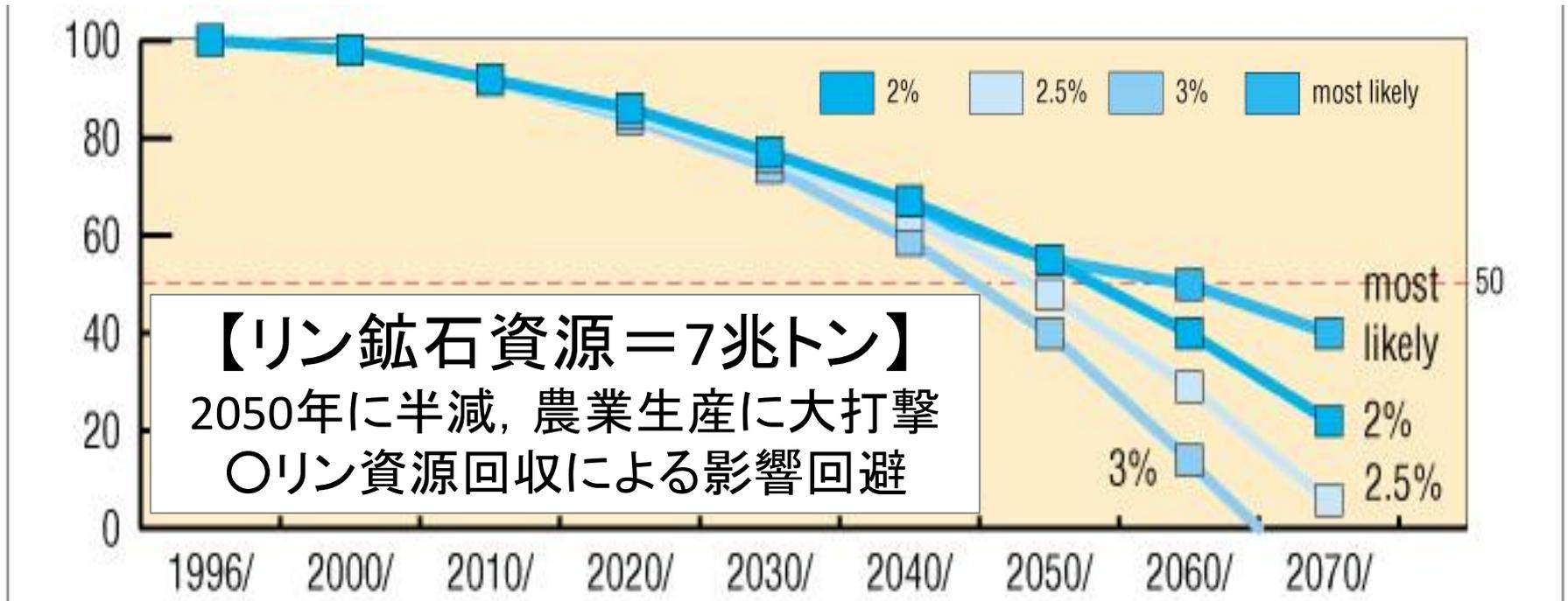
【穀物生産量維持, タンパク確保が喫緊の課題に】

区分	1990年	2013年	変化率
(1) 農地面積 (灌漑面積率)	0.20 ha/人 (18%)	0.12 ha/人 (19%)	 60%減
(2) 穀物生産量	0.39 トン/人	0.37 トン/人	 5%減
(3) 動物性タンパク 生産量	0.035 トン/人	0.031 トン/人	 11%減
(4) 魚介類タンパク 漁獲量	0.027 トン/人	* 0.020 トン/人	 26%減

(補注1) データベース: FAO統計, 農林水産省統計から筆者作成

(補注2) 魚介類タンパク漁獲量の2013年のデータ\*)は、2011年のもの。

# 明るい将来展望①: 先端的な資源循環技術を持つ強み



リン鉱石産出国: モロッコ (5.7), 中国a (4.1), 南アフリカ (1.5), 米国 (1.2), ヨルダン (0.9)  
 (単位 10億トン) 出典: International Fertilizer Association



**農学の父・リービッヒ**  
 Justus Freiherr von Liebig  
 (1803-1873)

窒素・リン・カリ=植物の  
 三大栄養素であることを  
 提起した。

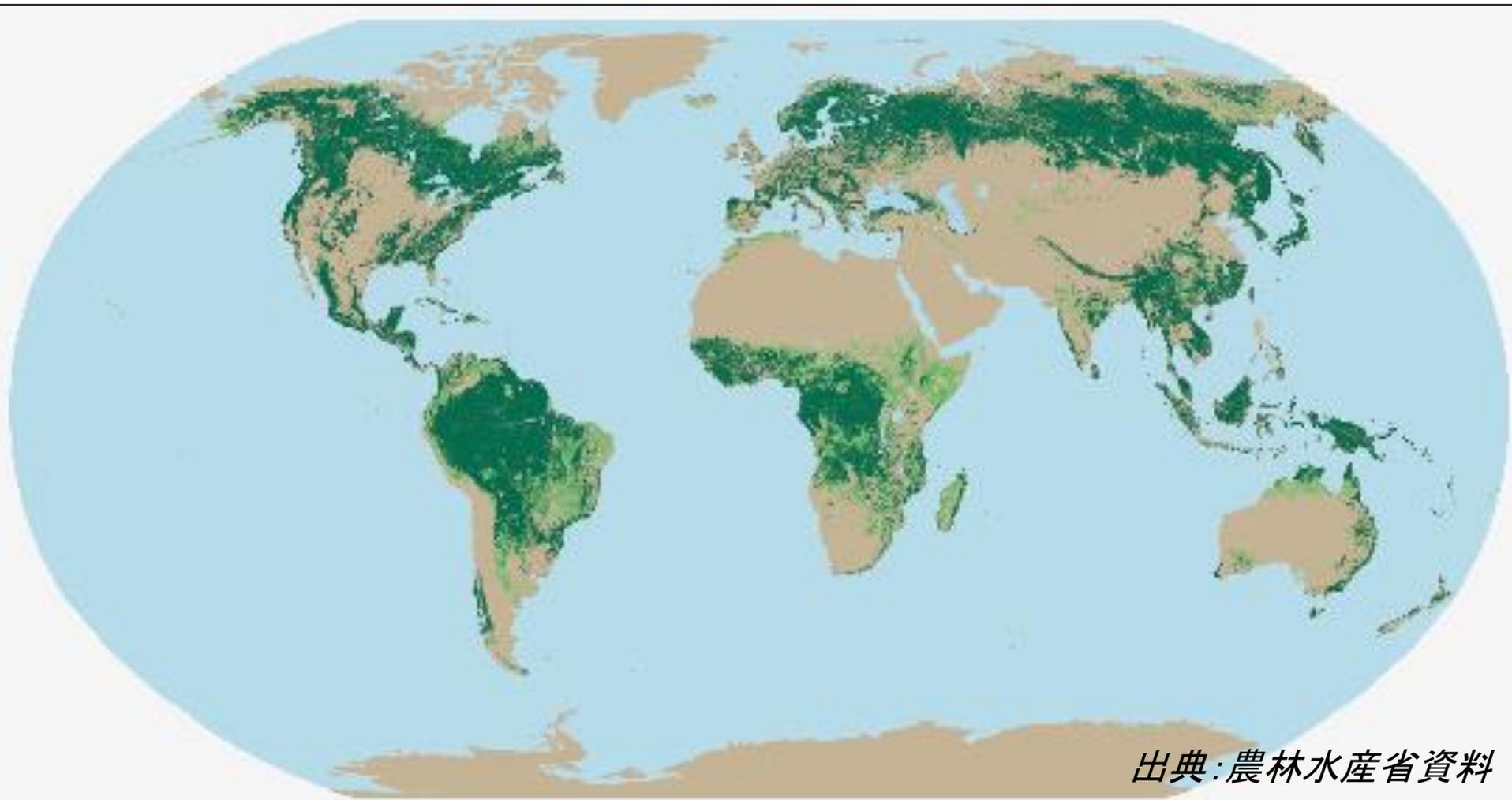


## 深刻な富栄養化

都市下水と農地からの  
 栄養塩類流入が主たる原因  
 (写真: 中国・大湖)

# 明るい将来展望②: 世界有数の森林国である強み

【亜臨界水技術による動物性タンパク生産資源の確保】



出典: 農林水産省資料

凡例:  海洋  森林域  林地  その他の陸域

# まとめ

## (1) 水・エネルギー・食料の安全保障総合戦略

- ・狙いは、雇用確保／暮らしの安全保障
- ・(仮称)ふるさと産業革命の推進\_\_亜臨界水技術が下支え。

## (2) 亜臨界水技術が果たす役割(各論)

- ・バイオマス系: 資源循環・高機能堆肥生産
- ・カーボン系: 良質木質飼料生産, 自給率改善が可能。

## (3) 国際的視点／日本が持てる明るい将来展望

- ・世界に広がる「ジャパン・シンドローム」リスク
- ・喫緊の課題は、リン資源安定確保／動物性タンパク確保  
\_\_切り札は、日本発・先端的な「亜臨界水技術」
- ・国内5か所にショーケースを整備, 資金20億円調達



# ご静聴ありがとうございました。

## ご理解ご支援のほど、 どうかよろしくお願い申し上げます。

### 研究開発機構／次世代環境産業形成研究ユニットメンバー一同

- 専任研究員: 松下 潤(芝浦工業大学名誉教授)
- 客員研究員: 松井三郎(京都大学名誉教授), 杉浦則夫(筑波大学特命教授)  
那須清吾(高知工科大学教授、学長補佐), 村上雅博(高知工科大学名誉教授)  
布村明彦((財)河川情報センター理事長), 宮代知直(装置メーカー会長, 学術博士)  
内海真生(筑波大学生命環境系准教授), 中川直子(立教大学特任准教授)
- 研究員: 寺井しおり
- アドバイザー: 吉村和就(GWJ代表), 中井英治((株)エースクリーン代表取締役社長)  
後藤雅史(芝浦工業大学特任教授), 石崎浩之(芝浦工業大学特任准教授)  
阿部清一(杵築技術士事務所主宰、工学博士)
- 責任者: 山田 正(中央大学理工学部教授)

／以上の16名

# 手持ち資料集

(質疑応答用)

# 【コア技術紹介】MRM亜臨界水反応装置



## 【亜臨界水技術とは何か】

- ・温度200°C・圧力20気圧程度の水蒸気を反応槽に封入
- ・亜臨界状態の水の強力な「加水分解力」により、有機物を低分子化。  
(たんぱく質→アミノ酸, 脂肪→低級脂肪酸, セルロース→糖類)

## 【長所】

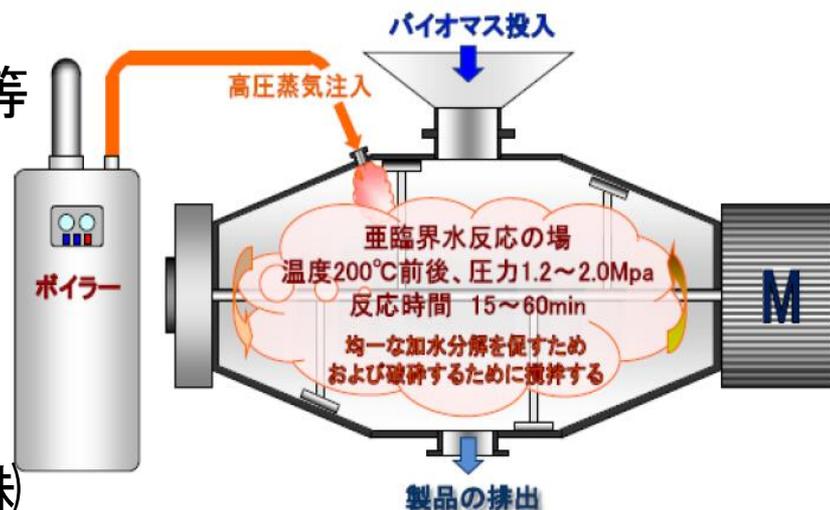
- ・腐敗菌やウイルスなどの有害物質を分解し、無害化。
- ・燃焼技術と比べ、装置が簡易で低コスト。(有害ガス発生一切なし)

## 【多様なバイオマスの資源化】

- ・生ごみ, 家畜糞, 下水汚泥, 間伐材等
- ・高速堆肥化, 飼料化に向く。
- ・機能性物質の抽出も可能。

## 【特許】

- ・連続式: (株)三菱長崎機工
- ・バッチ式: G-8 International Trading(株)



# 【コア技術紹介】亜臨界水技術(バッチ式)の特性

## ■多様なバイオマスに適用可能

- 生ごみ, 食品加工残滓, 農林水産業残滓
- 下水汚泥, 家畜糞尿, 地域の未利用材
- 医療廃棄物  
(プラスチック類や重金属混入物も可能)

亜臨界水反応装置(バッチ式)  
【反応槽容量2m3モデル】



## ■装置の運転操作条件

### 亜臨界水技術特性(高温・高圧水蒸気)

- ・温度: 100~2000°C / 圧力: 10~20気圧
- ・処理時間: 5分~60分

### 装置構成を徹底簡素化 / 低コスト化

#### 【少ない消費エネルギー】

- ・重油20-30ℓ, 電力10-20kWh / 1バッチ

### 装置の高機能性

- ・強い加水分解力(高分子有機物を低分子化)
- ・高い溶媒力(有機物中の油類を高速抽出)
- ・安全性(殺菌, 抗生物質や化学物質を分解)
- ・燃焼工程を一切含まず, 環境対策コスト削減

資源化促進



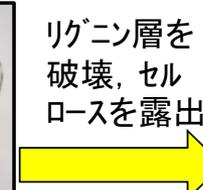
◎生ごみ(プラスチック混入)を高速分解



◎魚残滓から魚油を抽出



◎未利用材を牛の飼料化

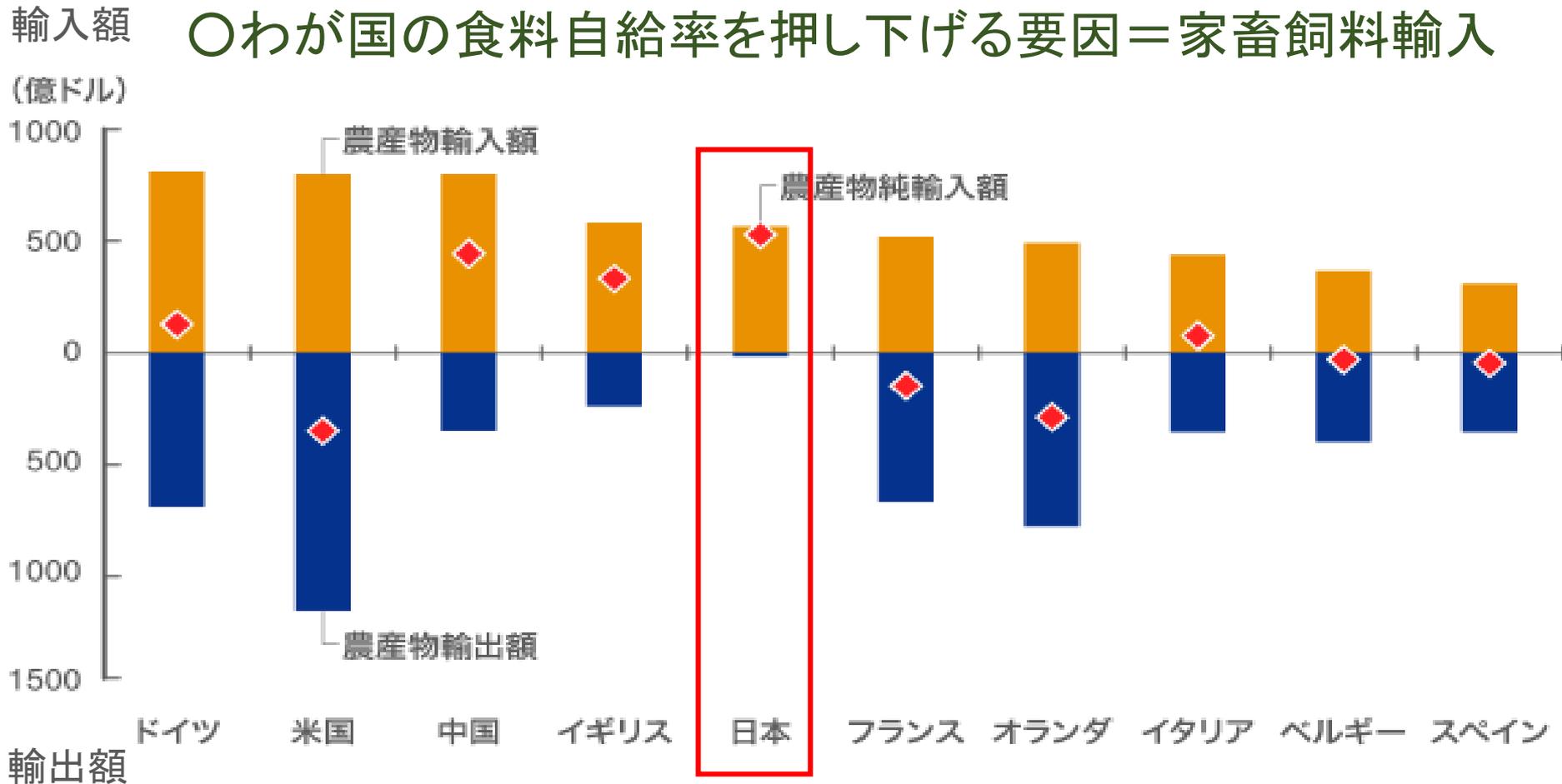


リグニン層を破壊, セルロースを露出

地域の環境産業を支えるエンジン役

# 農産物の輸出・輸入額(国別比較)

【先進国の中で圧倒的に食料自給率が低い日本】  
○わが国の食料自給率を押し下げる要因＝家畜飼料輸入

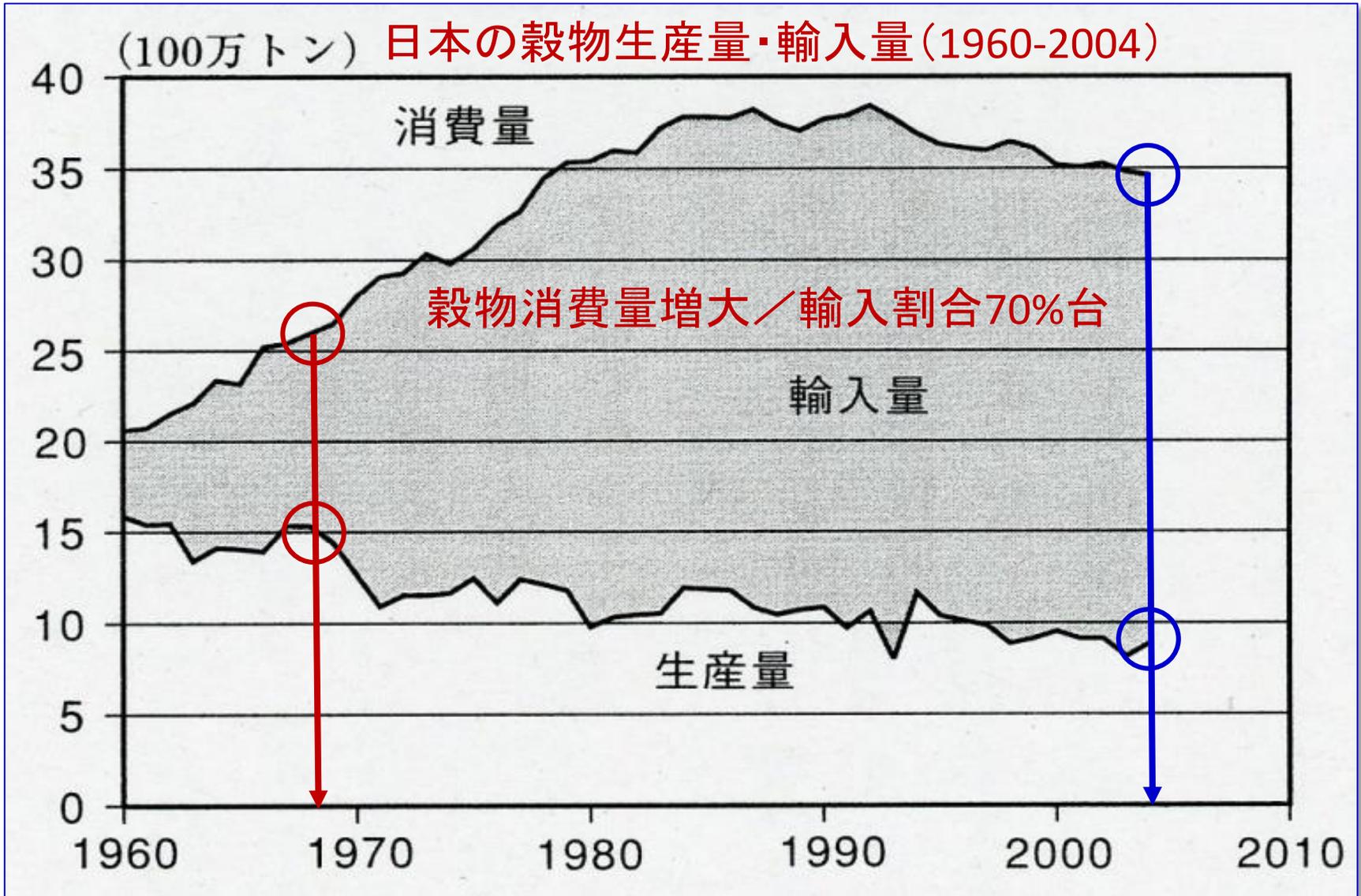


資料：FAO（国際連合食糧農業機関）「FAOSTAT」

注：農産物純輸入額＝農産物輸入額（CIF【着港渡価格】ベース）－農産物輸出額（FOB【発港渡価格】ベース）

# 世界に広がる「ジャパン・シンドローム」

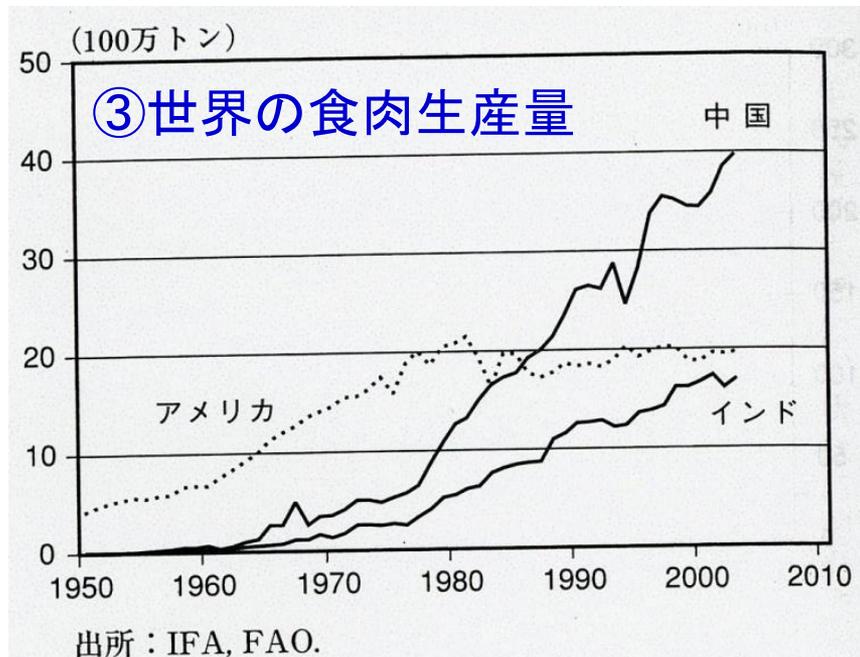
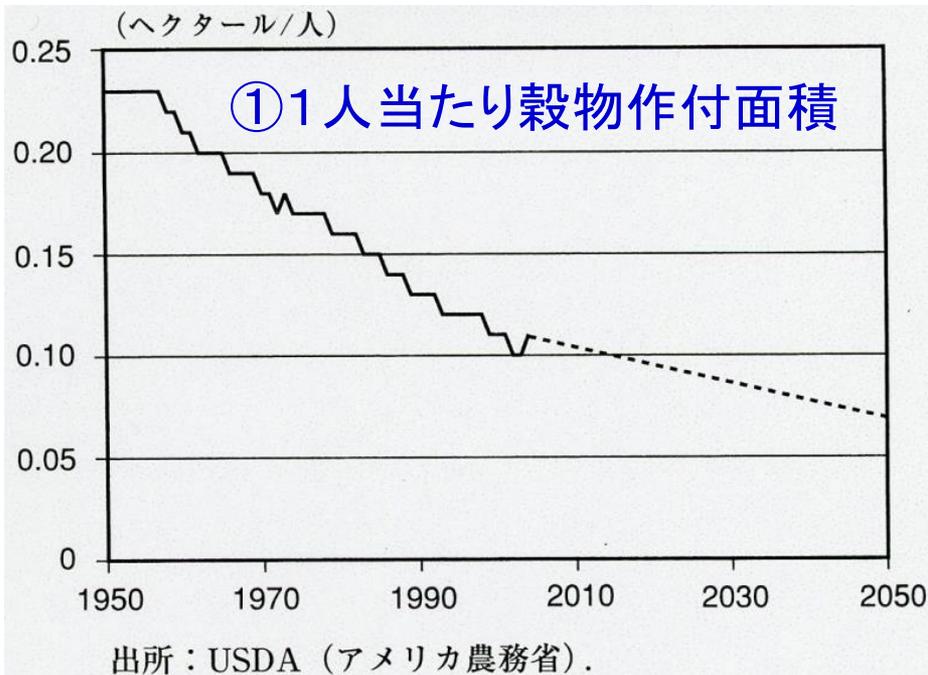
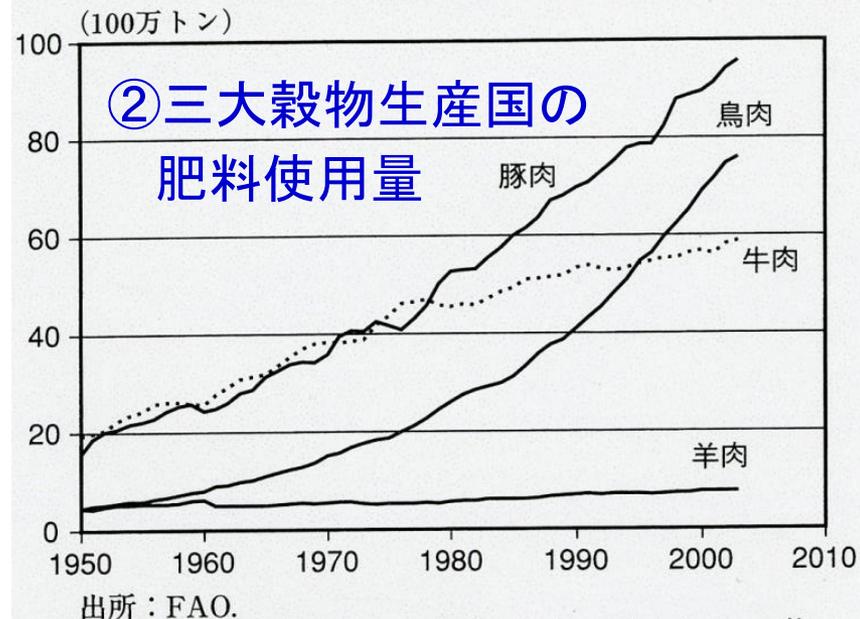
(Lester Brown著: Outgrowing the Earth, 2005)



# 地球の食料生産力の診断

○将来の食料生産力アップは  
簡単に見込めない

○食肉生産量増を支えるには  
飼料確保が大きな課題に



# 東アジアにおける化学肥料(窒素肥料)の増産と地下水汚染

## Increase of Chemical Nitrogen Fertilizer Use in the World

leading to heavy groundwater contamination by nitrate Compounds

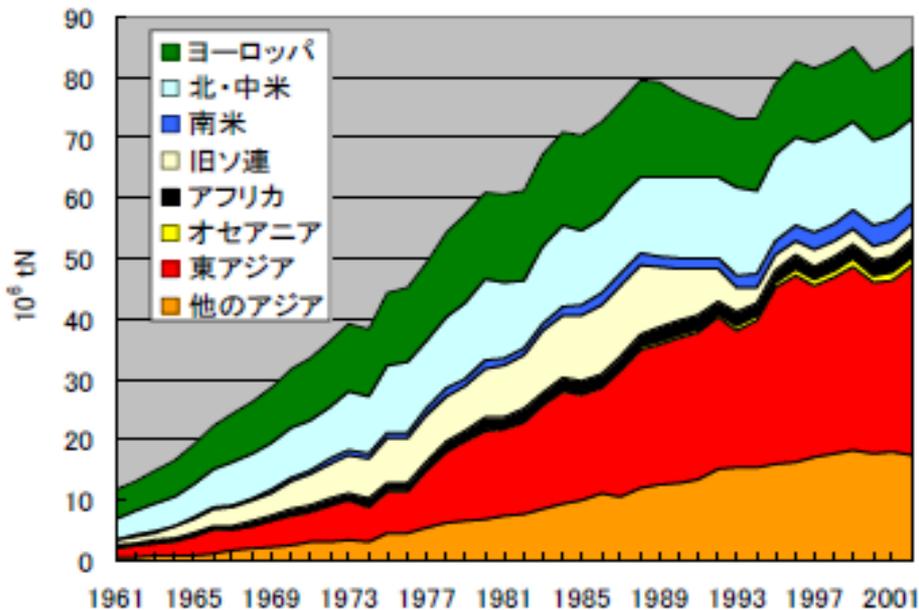


Fig. 1 Chronological Change of Chemical Nitrogen Fertilizer Use in the World (1961-2001)

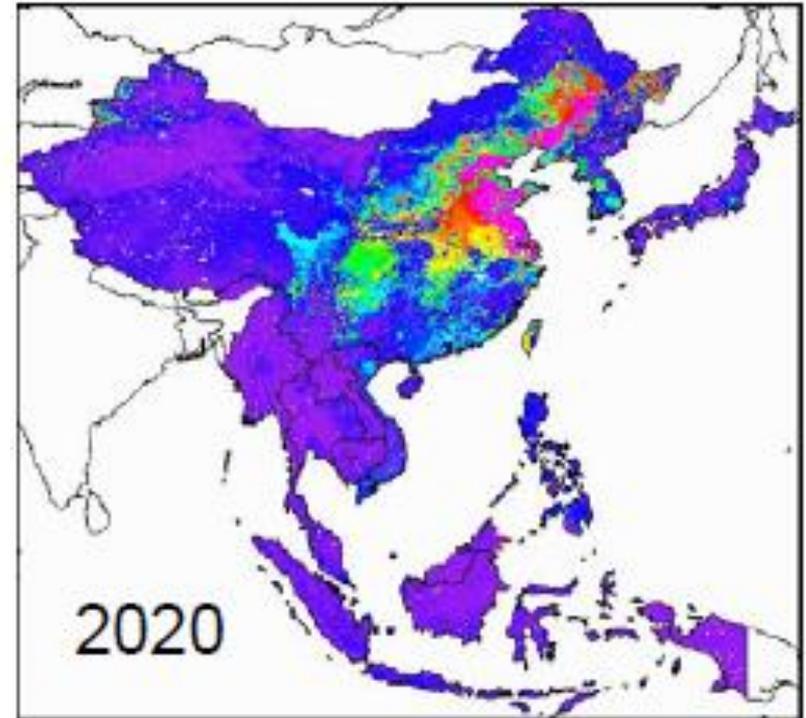


Fig. 2 Groundwater Contamination by Nitrate Compound in South East Asia

Source: Sumiko Shindo

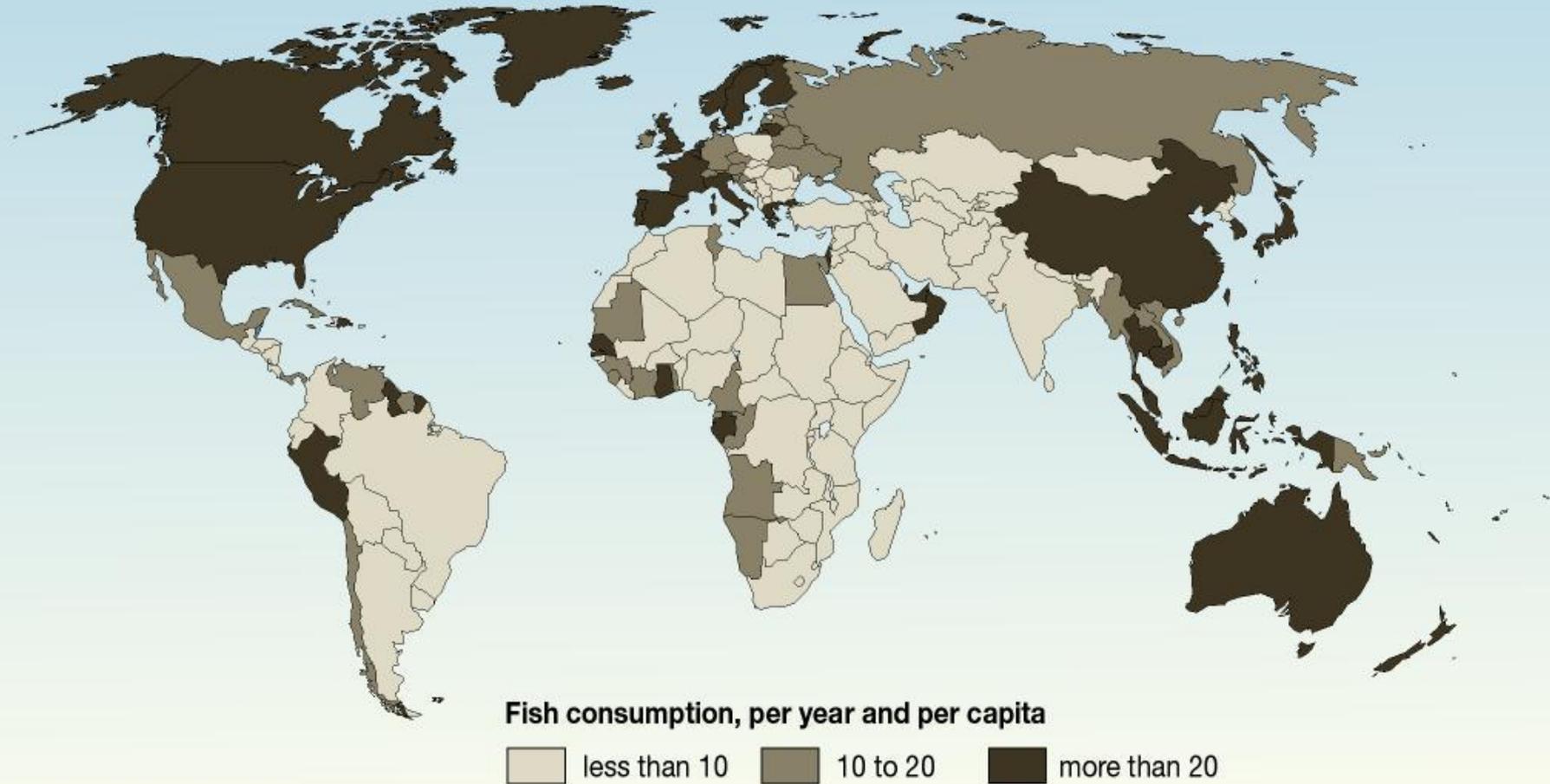


Time Bomb of Urban Waste (Jakarta Post)

多量に埋立投棄される都市ごみを資源に転換できる技術とは？

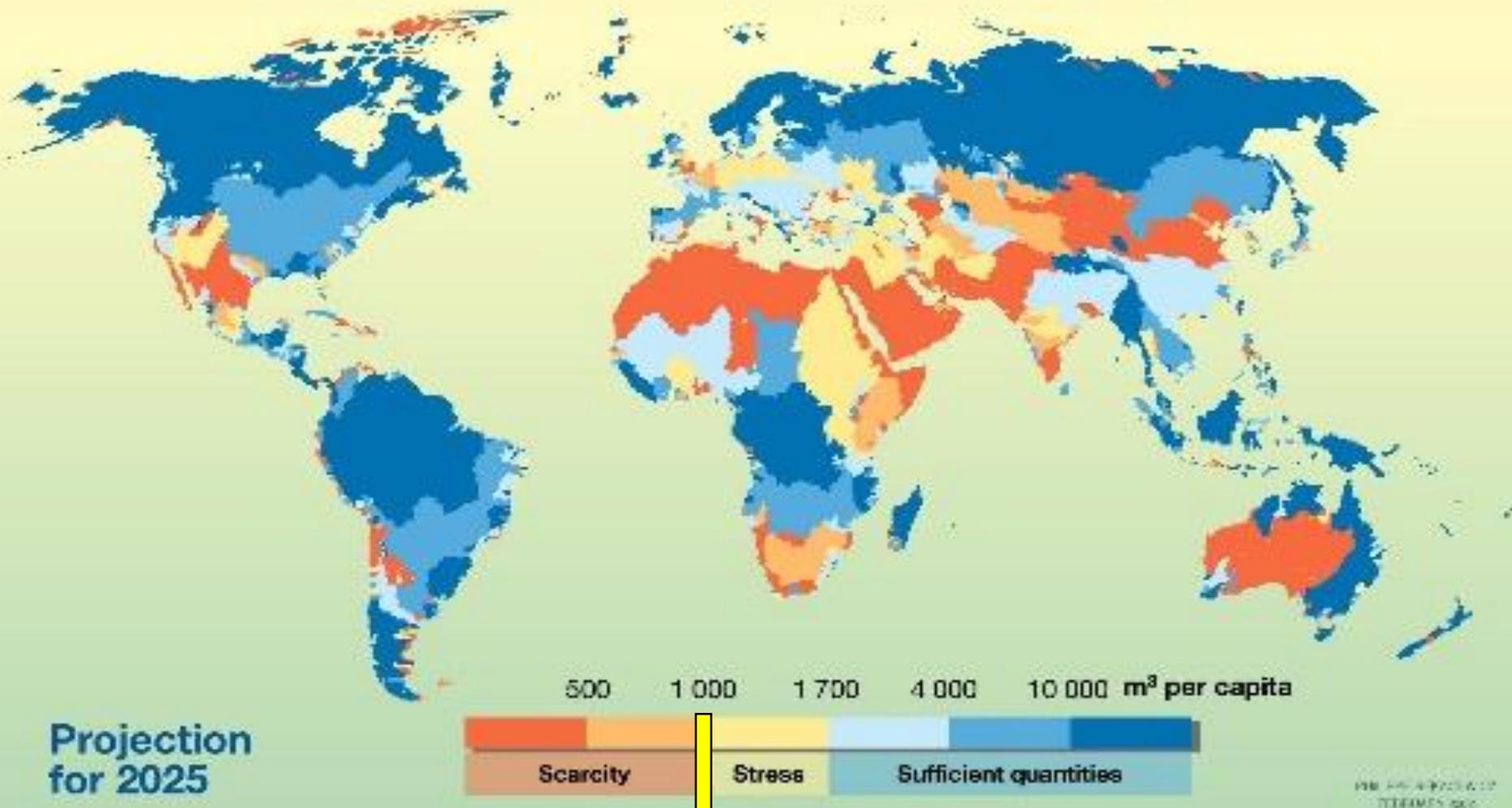
# 魚介類タンパク消費量(地域・国別比較)

【魚タンパク消費量～中・印で急増】



# 世界の水消費量不足度(国別比較図)

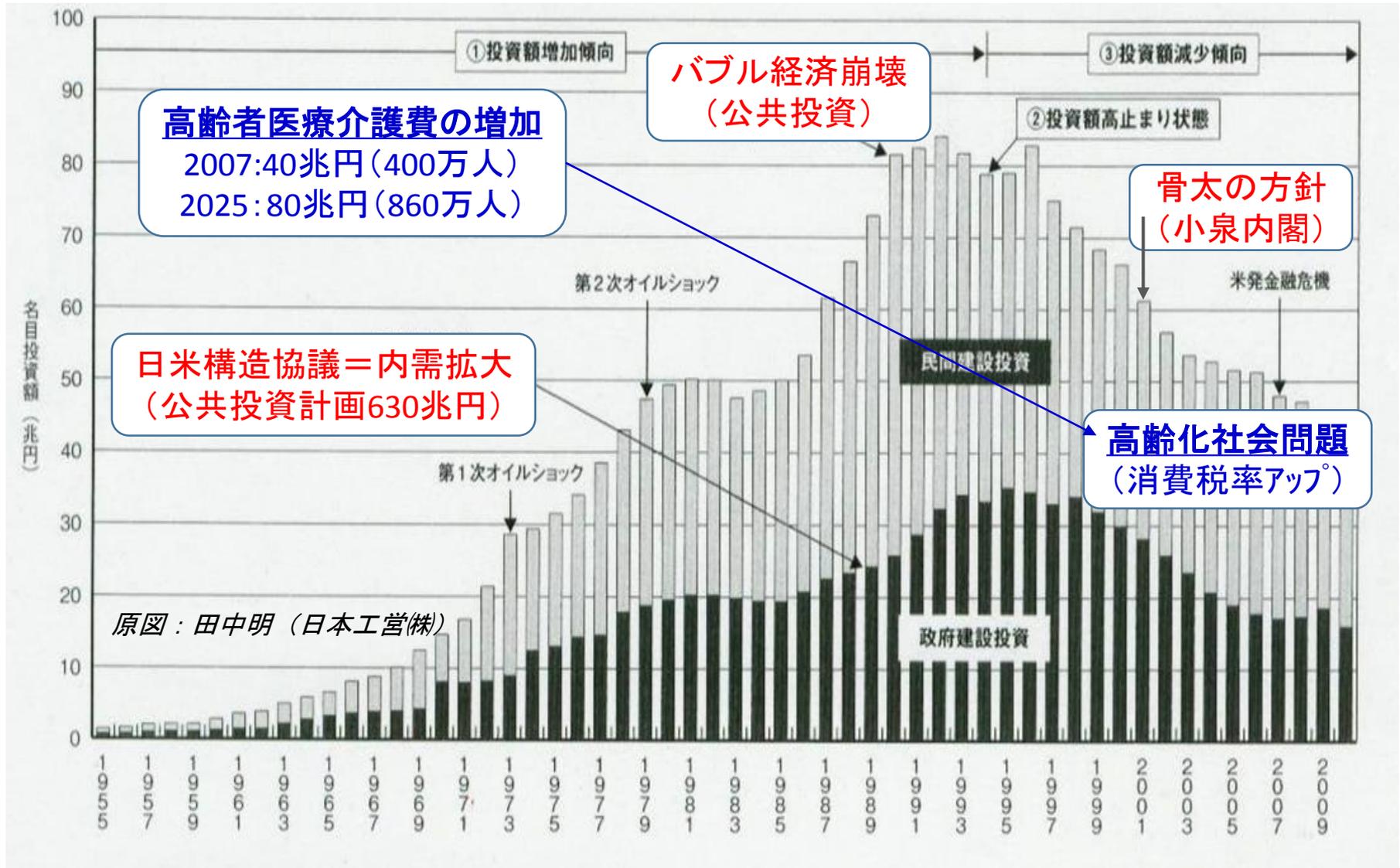
人口急増中のアジア・アフリカのほか乾燥地帯で深刻



○水ストレス(限界値): 1,000 m<sup>3</sup>/人・年

# 日本の課題②／地方経済の源泉・建設業に潜むリスク

年間受注額の推移(1956-2009)～高齢化社会コストが重荷に



# 日本の課題③／列島に潜む自然災害リスク

(上) 東日本大震災,

(下) 気候変動と異常気象(風害・土石流)



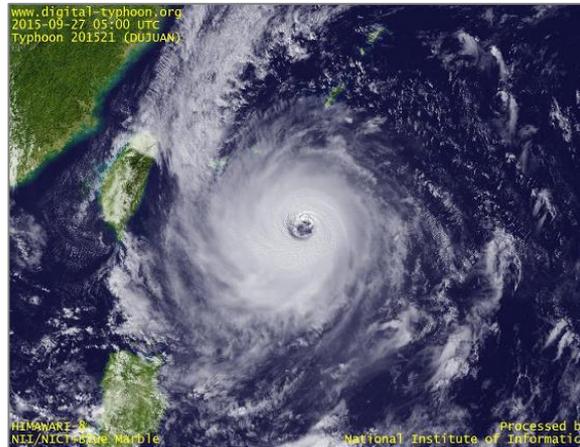
## 【東日本大震災被害】

(2011.03.11)

波高10m以上  
死者・不明者: 18千人  
避難者: 20万7千人



雇用回復せず、  
域外流出者多数

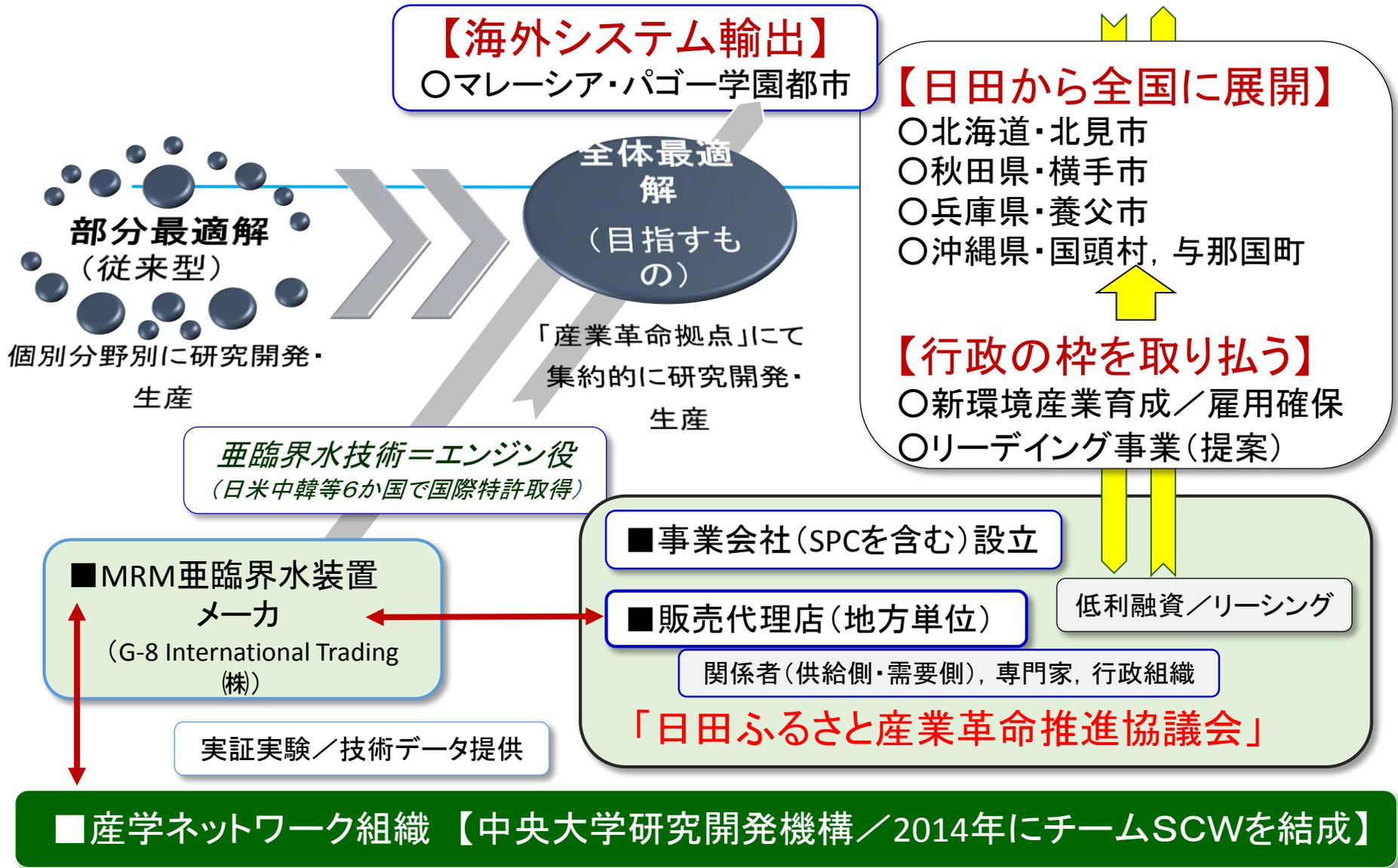


【伊豆大島土石流】(2013.10.17)  
日雨量824mm／死者・不明者: 39人

【先島諸島を襲った大型台風被害】(2015.09.21)  
瞬間最大風速80m/S超え／人家・系統連携型電源に大被害

# (3) バイオマス資源活用事業プラットフォーム

資料⑤



### (3) ふるさと産業革命の市場規模 (全国)

参考資料(15)

種別	原材料ポテンシャル (国内年間発生量)	市場規模 (年間売上額試算)
<b>【バイオマス系】</b>		
①家畜糞尿	8,200万トン (内)肉牛糞尿2,400万トン	高効率メタン発酵・発電 最大800億円(肉牛糞尿のみ)
②食品残渣	1,200万トン	高機能性堆肥生産 最大1,200億円
③下水汚泥	217万トン(乾物重量ベース)	高効率メタン発酵・発電 最大1,000億円
<b>【カーボン系】</b>		
①林地残材	400万トン	高質木質飼料生産 最大2,000億円
<b>【総計】</b>	<b>10,017万トン</b>	<b>最大5,000億円(見込み)</b>

○高効率メタン発酵・発電／亜臨界水技術でバイオガスが50%増・24Nm<sup>3</sup>/トン⇒電力を現行固定価格制度(39円/kWh)で販売。

○高機能堆肥生産／国内における堆肥の最高価格1万円/トンで販売できると想定。

○新木質飼料生産／木質粗飼料価格をトン当たり5万円(輸入粗飼料価格の2割減)と想定。)