

---

# 水資源と世界の穀物生産

近畿大学農学部 八丁 信正

---

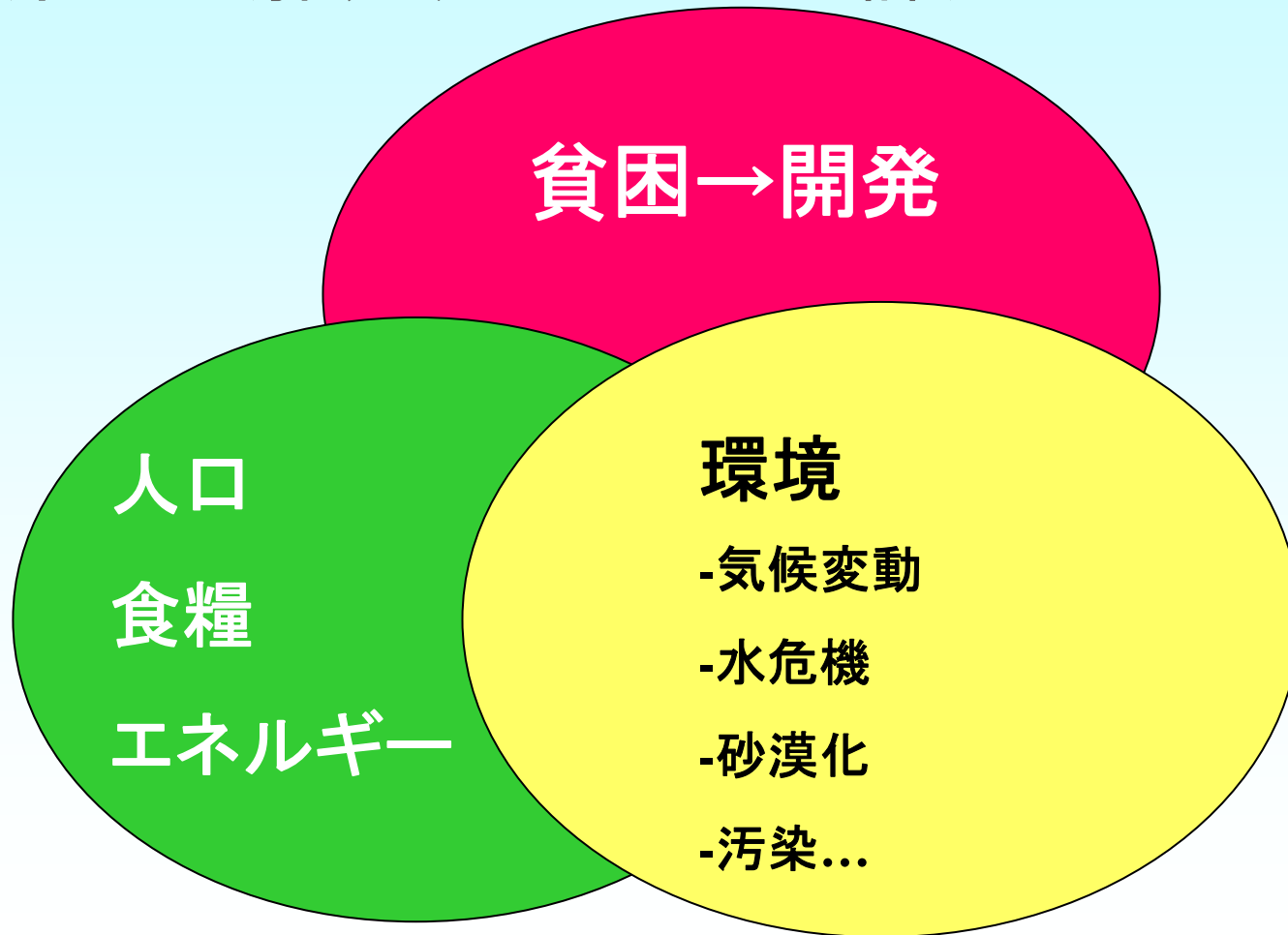
# 内容

---

- トリレンマ：貧困と環境と食糧
  - 水問題
  - 水と食糧生産
  - 食糧生産の展望
  - 持続可能な発展
-

# 1. 三つ巴のトリレンマ

緊急に解決すべき3つの課題



# 環境問題(人間と環境影響)

$$I \text{ (環境影響)} = P \text{ (人口)} \times A \text{ (豊かさ)} \times T \text{ (技術、資源利用効率)} \quad (\text{Ehrlich 1994})$$

物理的環境劣化 (土地利用、水循環、熱排出)

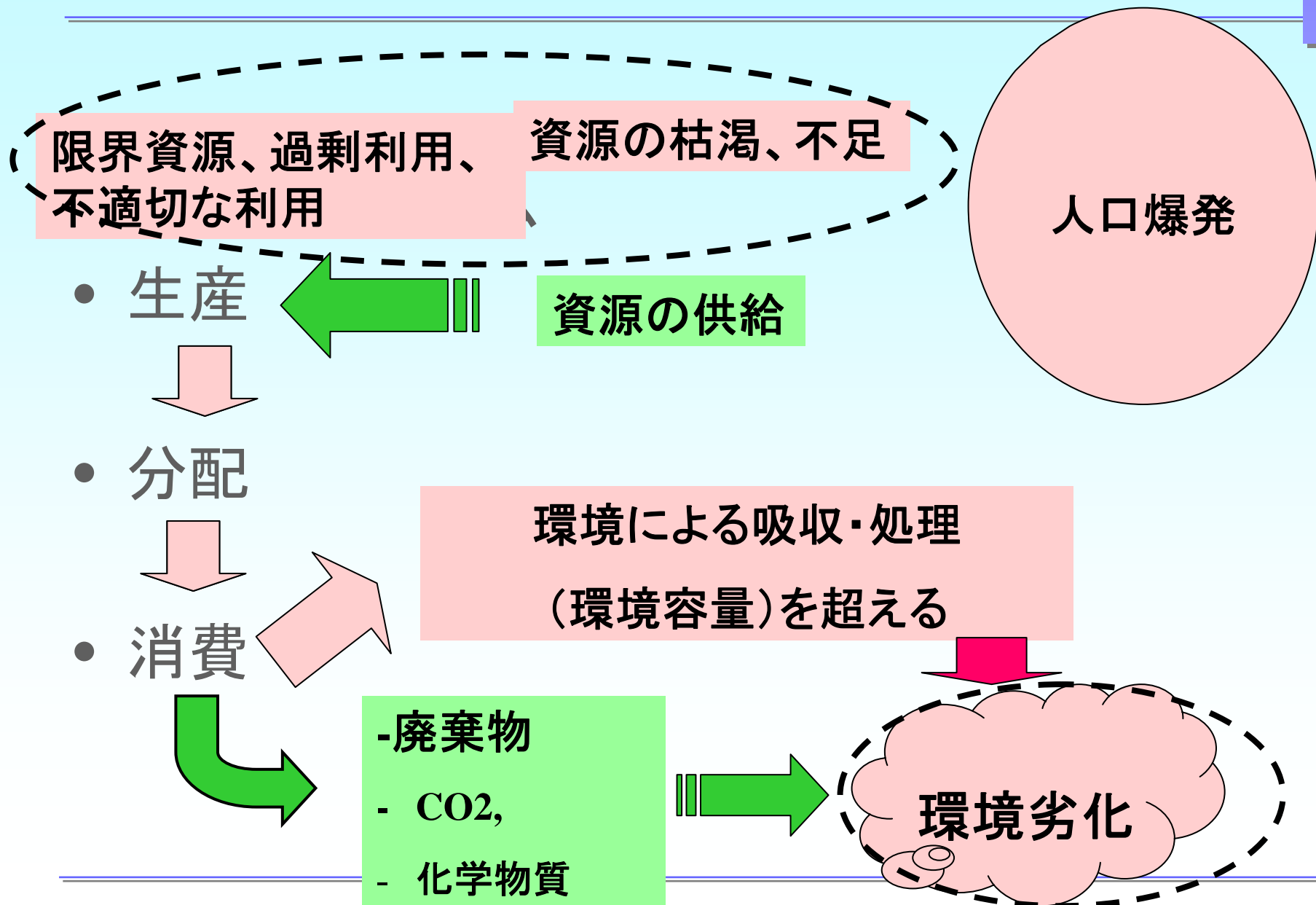
化学的環境劣化 (化学物質汚染、オゾン層破壊)

生態的環境劣化 (環境ホルモン、化学物質の濃縮)

生物の劣化・ウイルス進化 (生理・生殖機能低下)

人類滅亡?

# 環境問題



# 既に限界を超えた人間の活動

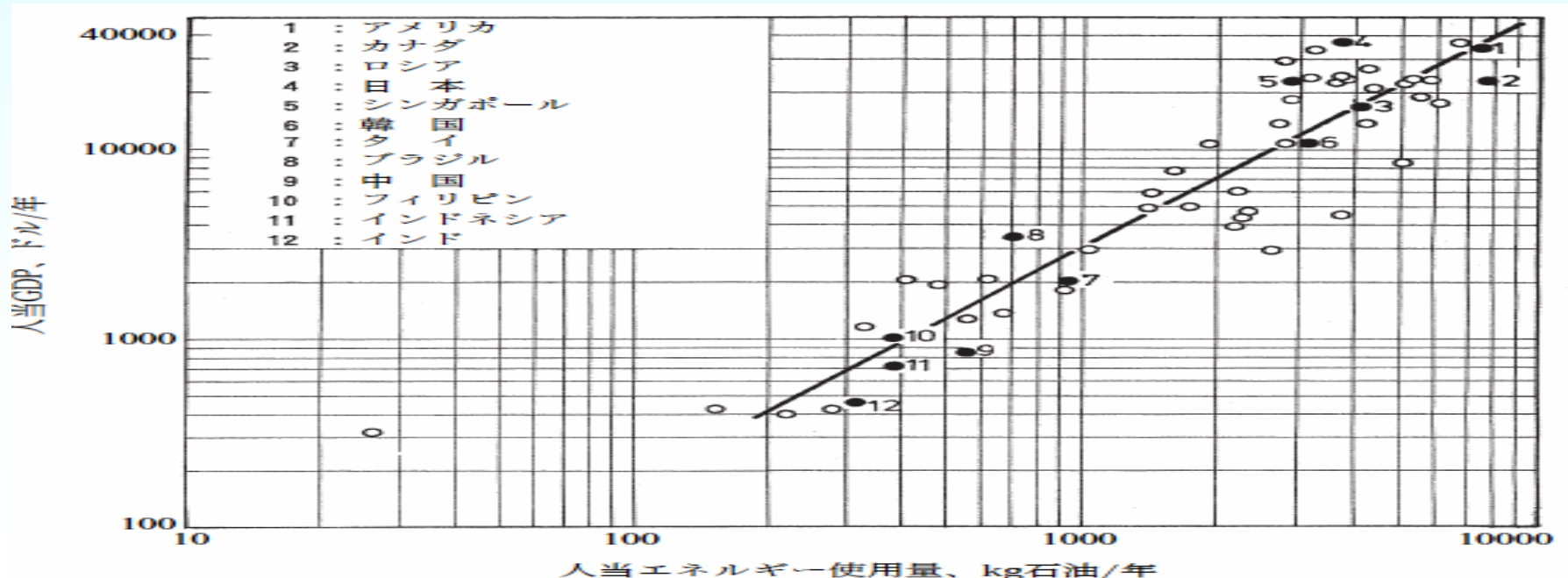
- エコロジカルフットプリント: 人間により消費される資源量で、以下から計算
  - 農作物の生産に必要な耕作地、
  - 畜産物などの生産に必要な牧草地、
  - 水産物を生み出す水域、
  - 木材の生産・CO<sub>2</sub>吸収に必要な森林、
- 現在、地球の生物生産力を25%超過
  - 日本が2.5倍、
  - EU加盟国が2.7倍、
  - アメリカが5.4倍(2003年時点)

# エネルギーと経済発展

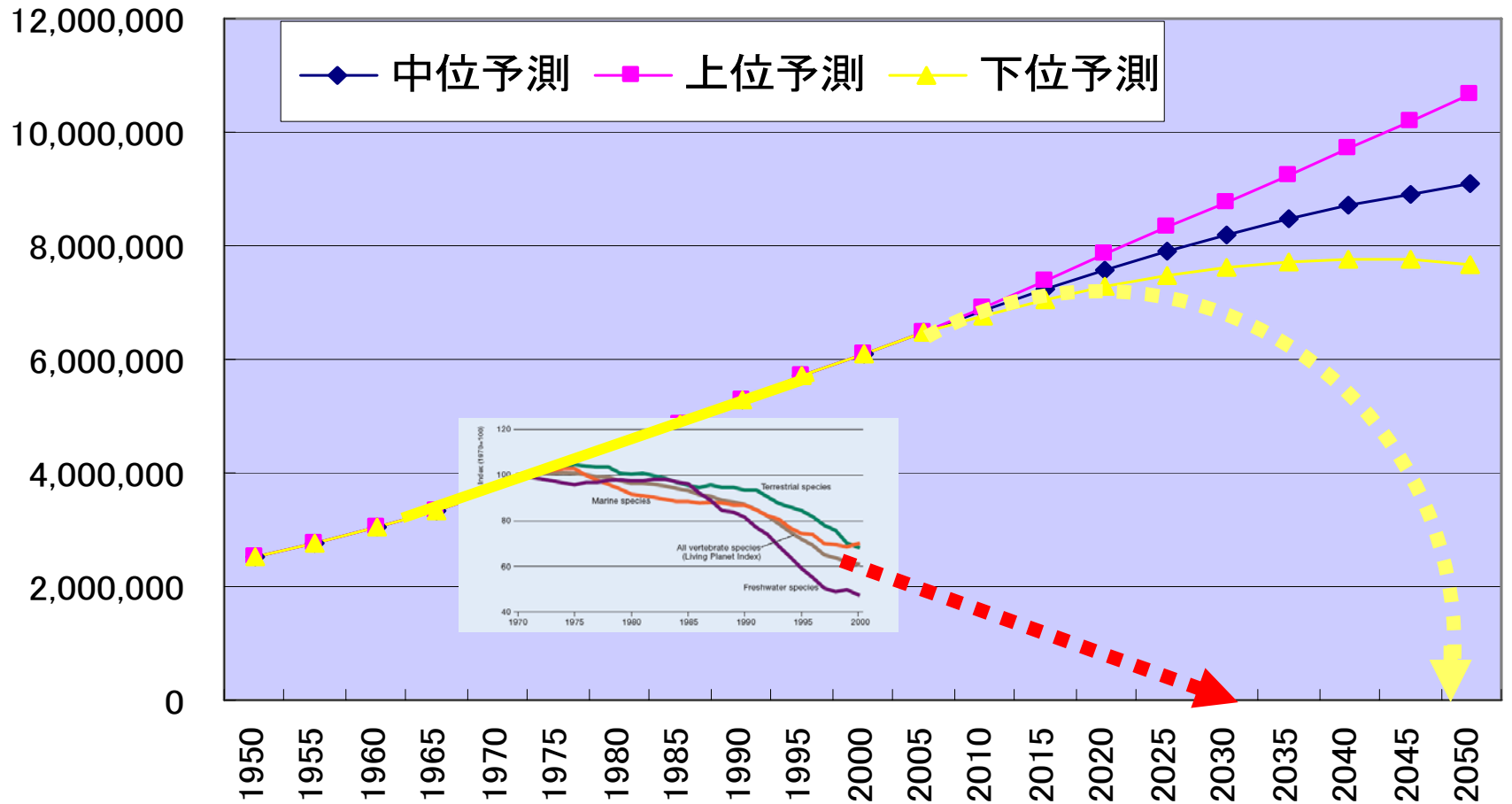
- 産業革命（18C半ば→）生産技術の発展+エネルギー利用量の増大→経済発展

- $GDP = 9.31 + 0.55M^{1.25}$  （内嶋 2006）

- M：一人当たりエネルギー消費量（kg／石油／年）
- 産業革命以前の所得は\$400／年／人程度。1.25→0.5
- エネルギー効率が向上すれば、1.25は低下。



# 国連人口予測と生物多様性





## 2. 水資源の動向

---

- 拡大する水需要 → 物理的不足
    - 部門間の競合
    - 環境との競合
  - 質の劣化：汚染物質の流入、廃水の増大
  - 拡大する危機→水争い、紛争？
  - 拡大する水ビジネス
-

## 2-2 水問題

- 地表水  
(河川、湖)
- 地下水
- 質の悪い水  
(汚水、廃水)
- 海水の淡水化？

### 地球上の水資源

2.5% 淡水

97.5%  
海水  
13.65 億km<sup>3</sup>

淡水 3千5百万 km<sup>3</sup>

0.3% 湖、貯水池

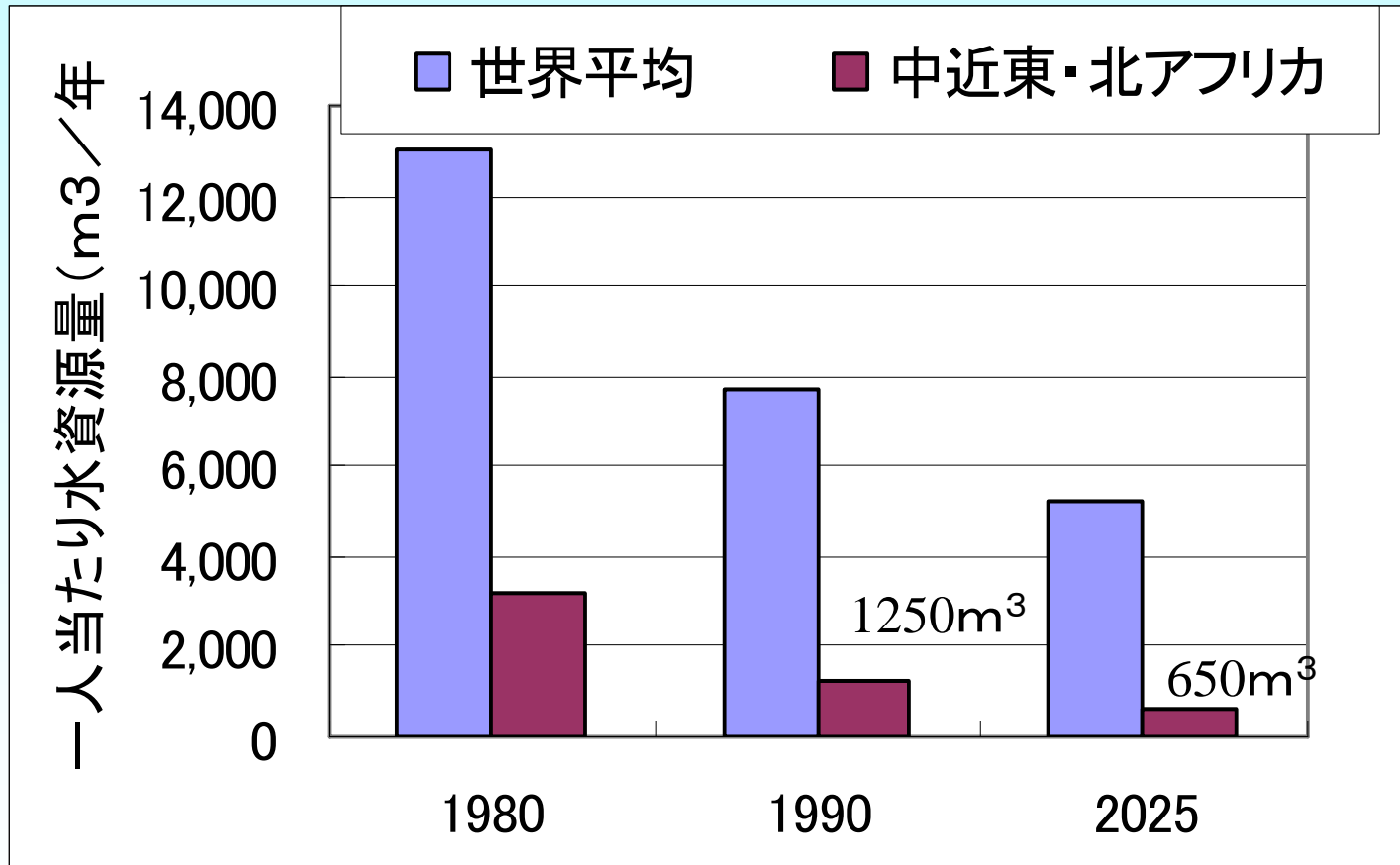
30.8% 地下水  
(土壤水分、沼、永久凍土含む)

68.9% 氷河、万年雪

利用可能な水  
14,000 km<sup>3</sup>  
(全水資源の0.001%)

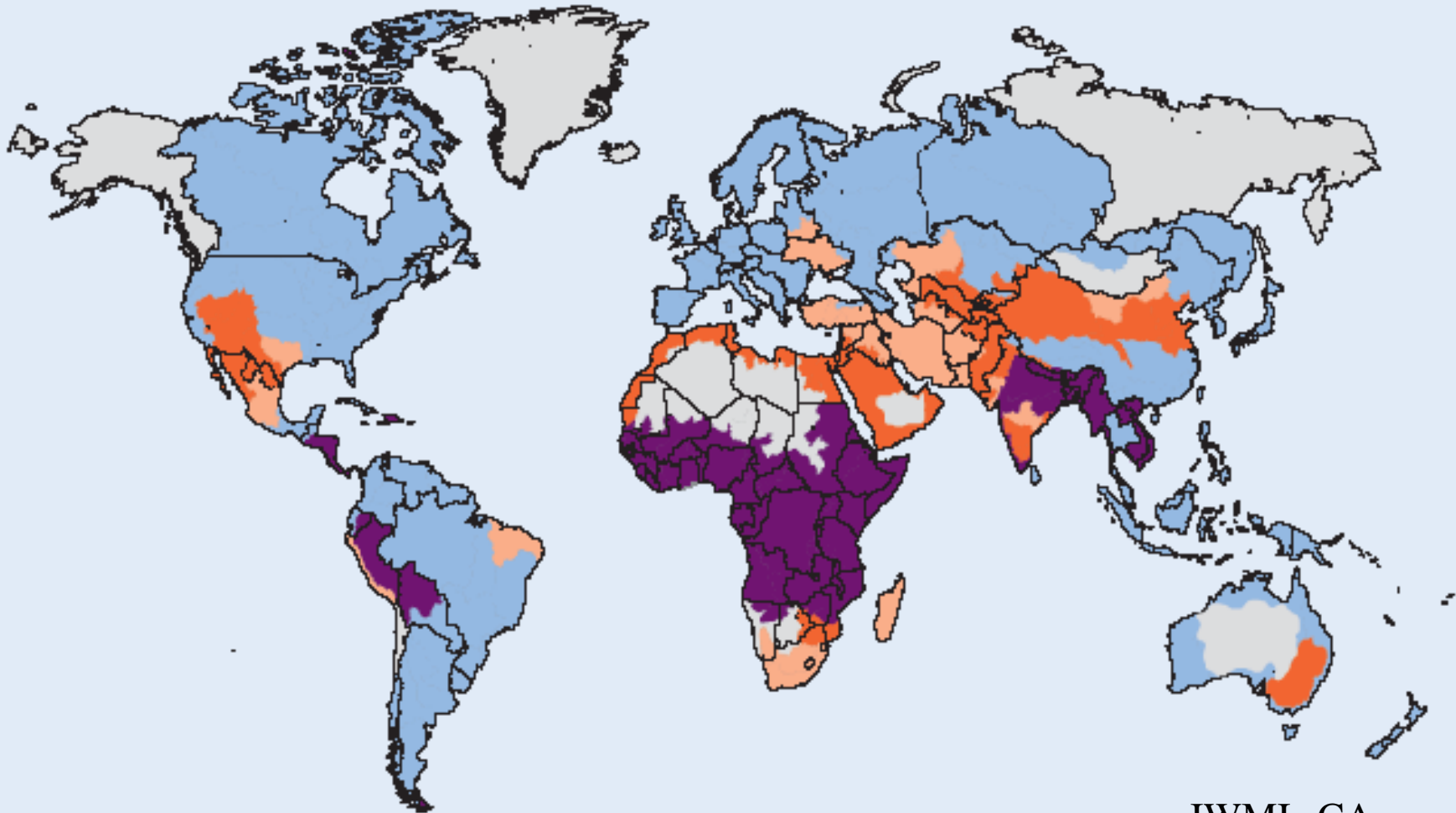
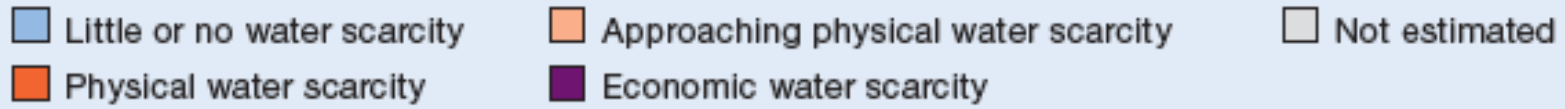
実際使用されている水  
4.400 km<sup>3</sup>

# 一人当たり水資源量の低下



WB: 1994

# 水不足の流域



IWMI CA

# 地下水利用の拡大

- **インドのポンプ数**
  - 100万台(1960)→2600(2002)–2800(2005)万台
- **灌漑に占める、地下水灌漑の割合(耕作面積比)**

– バングラデッシュ	69%	(31%)
– インド	53%	(16%)
– アメリカ	46%	( 6%)
– パキスタン	31%	(22%)
- **地下水位の低下(涵養量を超える取水)**
  - 中近東、北アフリカ、インド、パキスタン、中国北部、メキシコ、アメリカ南部...

# 食料と環境の安全保障確立のためのシナリオ2025

年平均成長率	灌漑	天水
最近の穀物収量の伸び	1.0%	0.5%
通常ビジネスシナリオ		
穀物収量の伸び	1.0%	0.5%
水生産性の伸び	0.6%	0.5%
25年間全体での伸び	20%	15%
食料と環境の安全保障シナリオ		
穀物収量の伸び	1.3%	1.0%
水生産性の伸び	1.8%	1.2%
25年間全体での伸び	60%	30%

F. Rijsberman (2001)

# 灌漑用水消費量(シナリオ)

地域/国	灌漑用水消費量 (立法キロメートル)			
	1995年 (基準年)	2025年予測		
		標準的	危機的	持続的
アジア	920	993	1,067	727
中国	244	231	264	179
インド	321	332	387	234
東南アジア	86	92	124	81
南アジア(インドを除く)	163	169	193	136
ラテンアメリカ	88	97	132	86
サブサハラ・アフリカ	50	63	102	47
西アジア/北アフリカ	122	137	137	92
全世界	1,436	1,492	1,745	1,196
先進国	272	277	304	258
発展途上国	1,164	1,216	1,440	939

# 水ビジネス

---

- ミネラルウォーター
    - 2001年のミネラルウォーターの生産量は、約124万7000キロ・リットルで、国民1人当たり年間約10リットルを消費
  - 日本の水輸出：576キロ・リットル（2001）
  - トルコ → 北キプロス、ヨルダン、マルタ、イスラエルと水輸出合意？
-

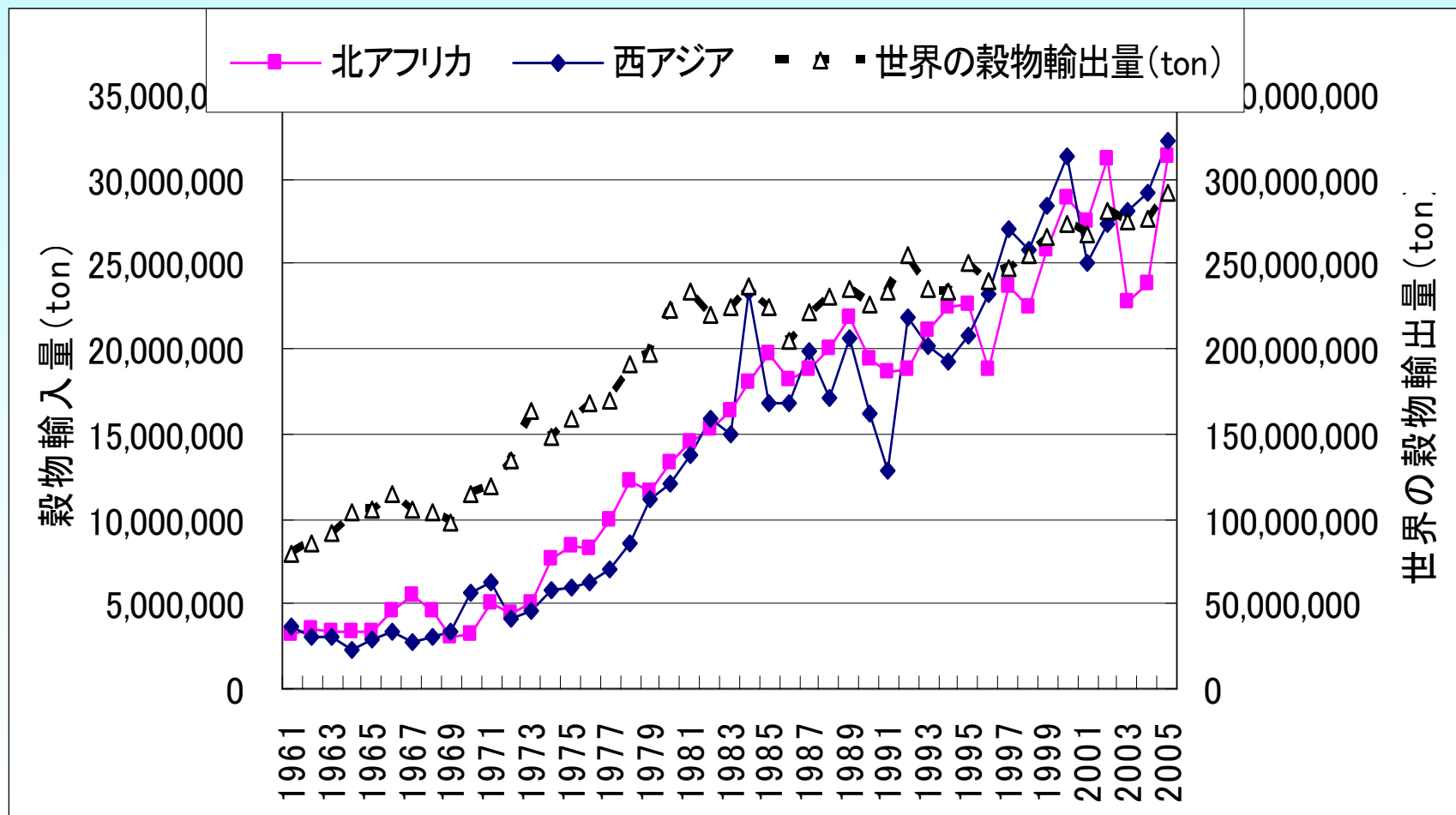


# 水と貿易：バーチャル・ウォーター

- 一定の農産物を生産するのに必要な水の量  
(水不足の場合、食糧を輸入することにより水を節約)
  - － コーヒー 1 kg → 20,000 liters
  - － ハンバーガー 1 ポンド → 11,000
  - － 綿の T-シャツ → 7,000
  - － チーズ 1 kg → 5,000
  - － 米 1 kg → 5,000
  - － 砂糖 1 kg → 3,000
  - － 牛乳 1 リットル → 2,000
  - － 小麦 1 kg → 1,000

食糧輸入により水ばかりでなく、土壌や栄養分などを間接的に輸入 (バーチャル環境)

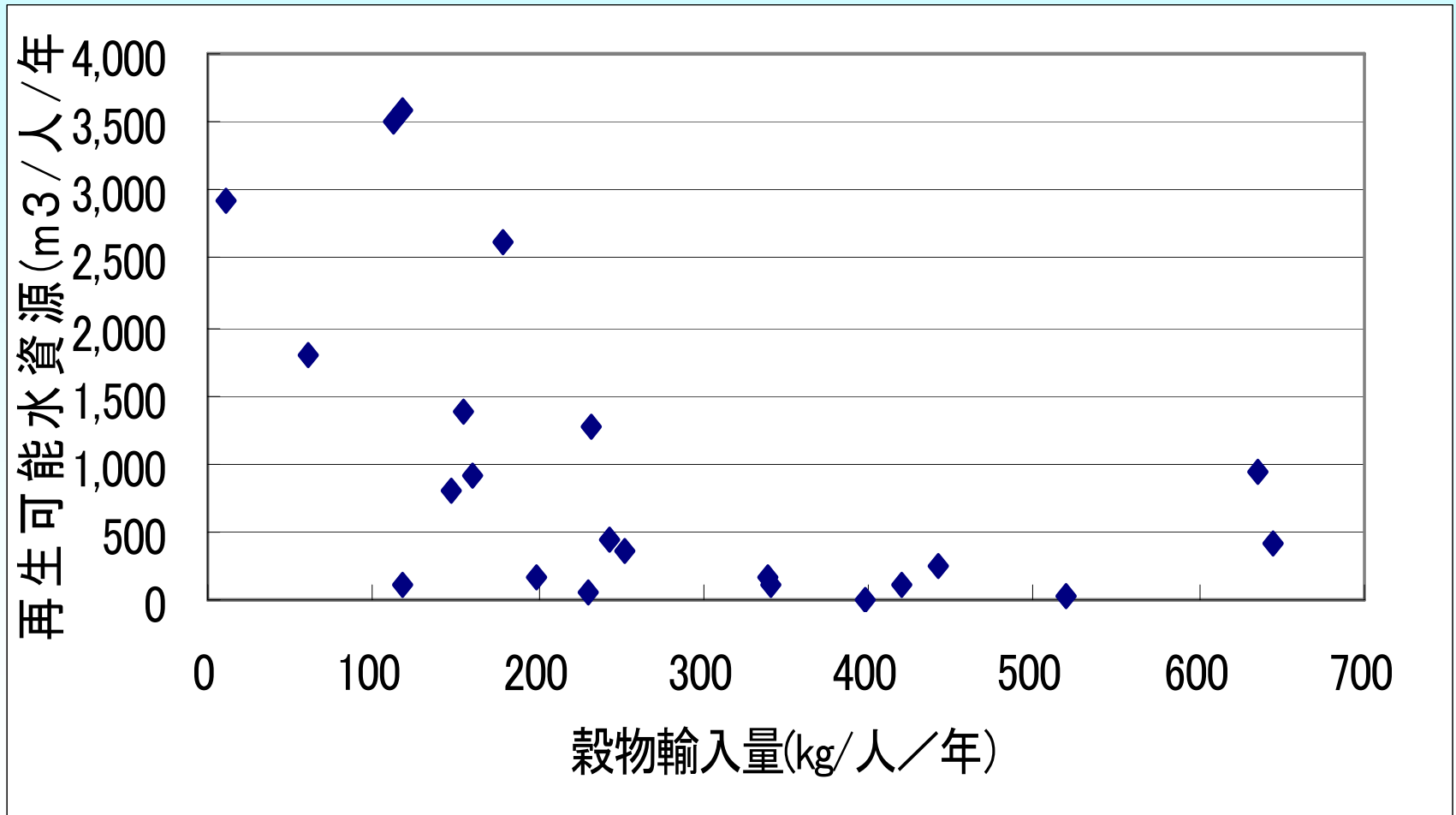
# 穀物輸入（北アフリカ、西アジア）



世界輸出の割合 7.1% ⇒ 9.2% ⇒ 15.9% ⇒ 18.1% ⇒ 20.0%

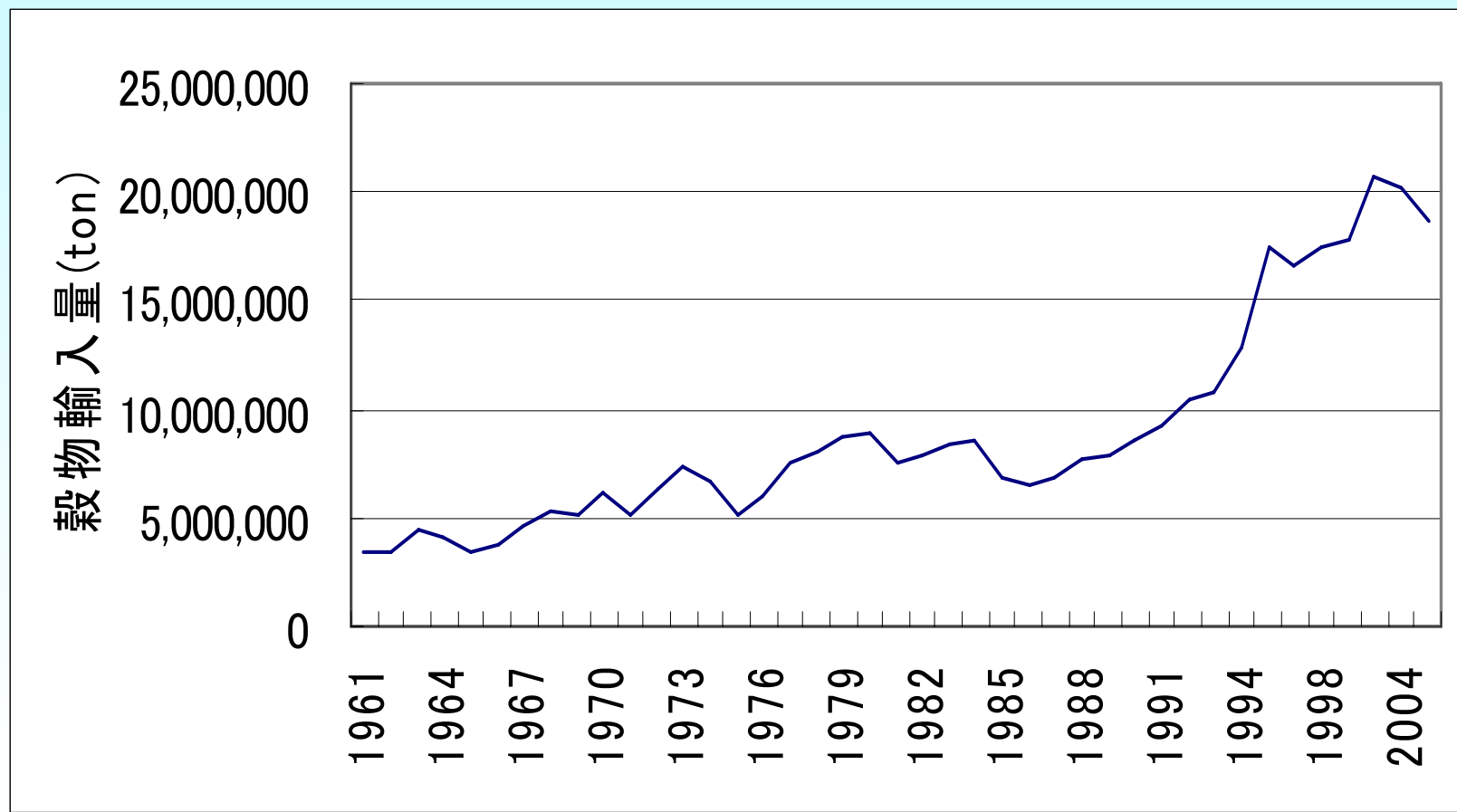
# 水資源と穀物輸入

(北アフリカ、西アジア)

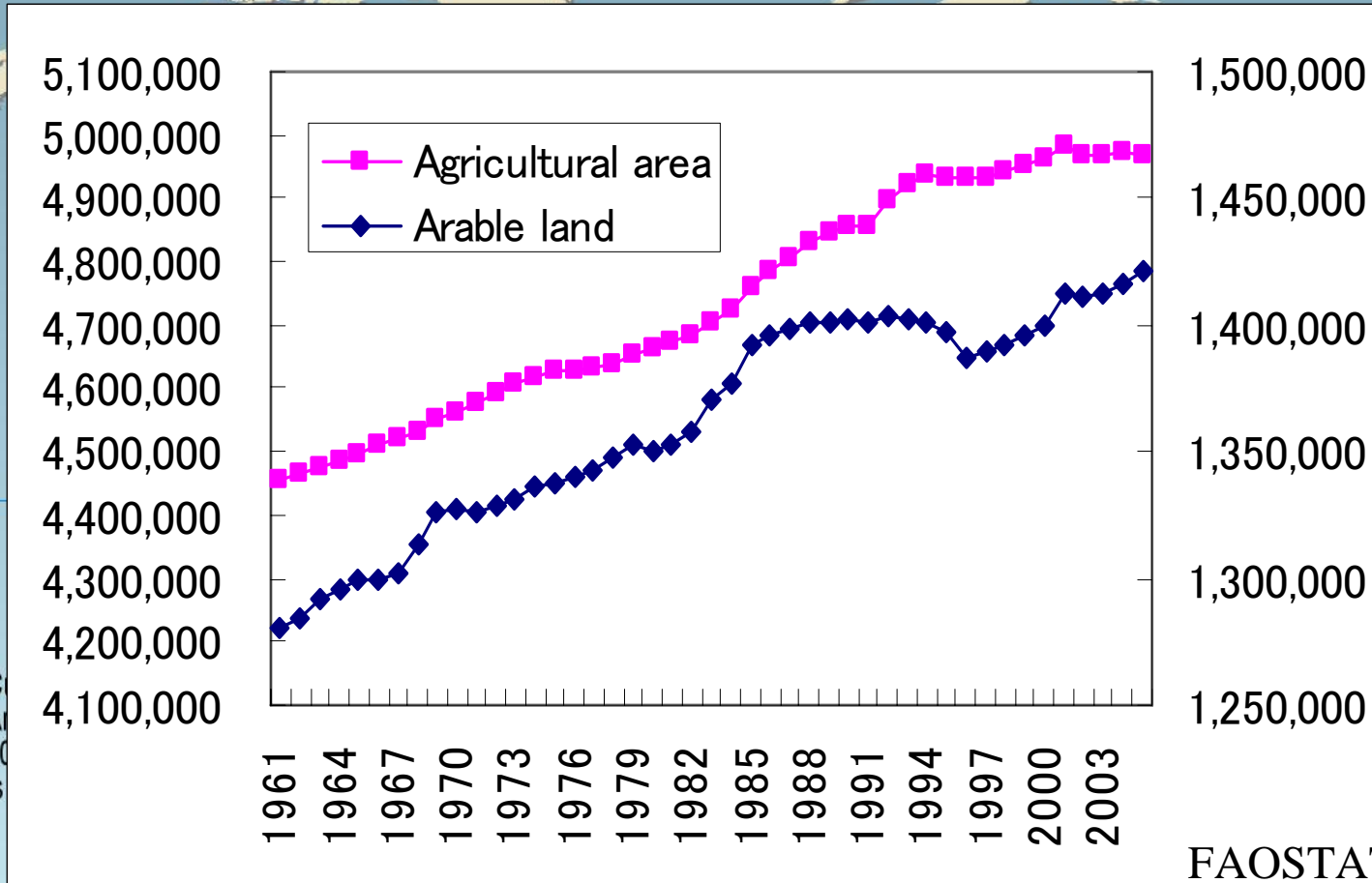


# 経済発展と穀物輸入

## 東南アジア諸国の穀物輸入量



# 3.世界の食糧生産



FAOSTAT 08

地球の土地面積に占める農用地：34%→38%

Source: Millennium Ecosystem Assessment

# 消費と生産のバランス

- 食糧の消費

= 一人当たり消費量(kg/人) x 人口(人)

消費: 穀物 → 肉、乳製品、果物への変化

人口: 現在 67億人、年間8千万人増大、  
2050年91億人

(国別消費量: アメリカ 800kg/人、インド200kg/人)

- 穀物の生産

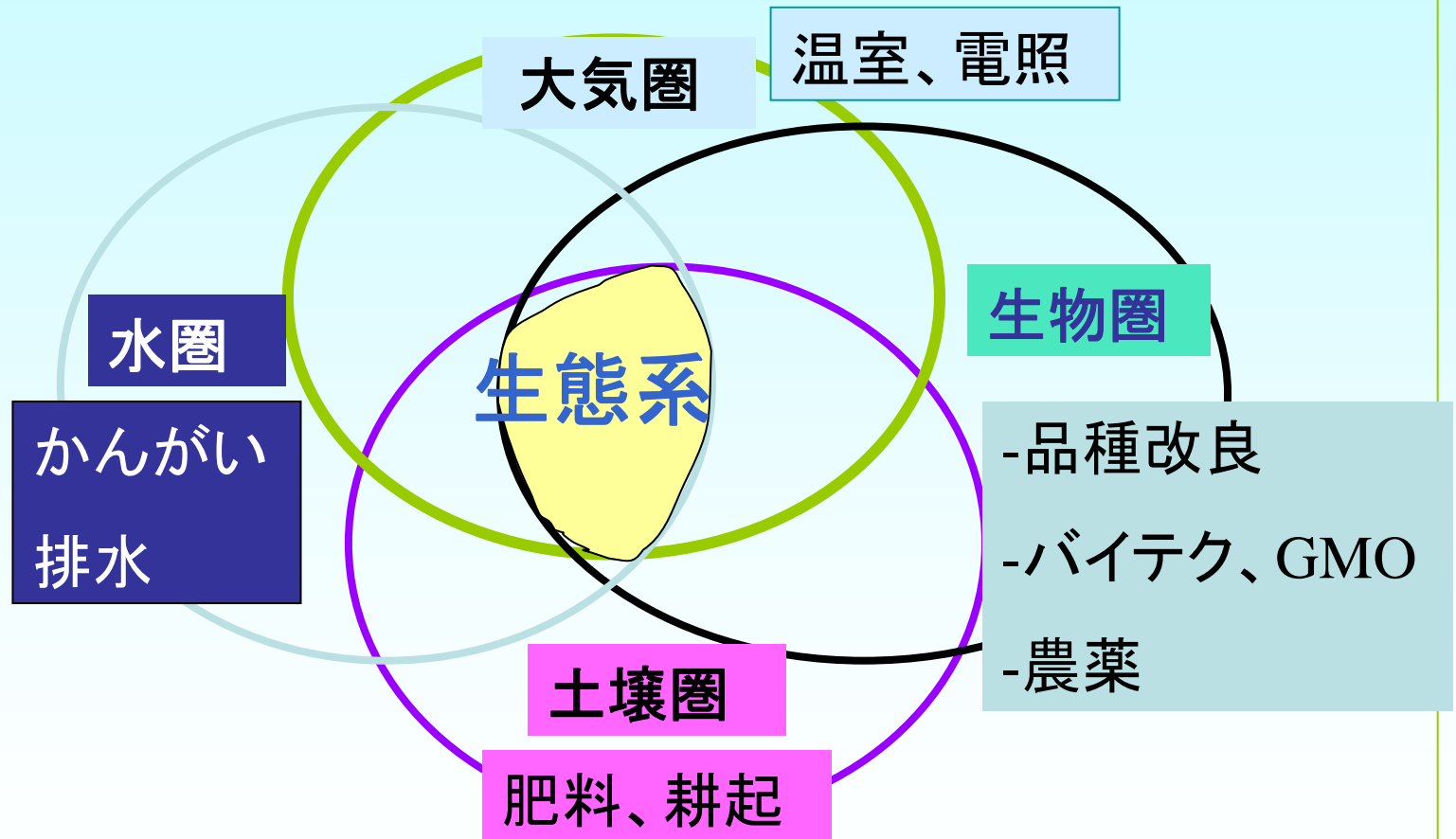
= 農地面積(ha) x 土地利用率(%) x 単位面積当たり収量(t/ha)

= 6.7億ha x 3.3 ton/ha => 22 億t (5億tは飼料)

**22億トン/67億人=330kg/人(日本の平均より高い)**

# 生態系と農業

- 生態系



- 農業: 人間の生態系に対する介入、改変 → より多くの食糧

# 水資源と土地資源：農業利用

水：110,000km<sup>3</sup>  
(陸地への降雨量)

流出 40,000km<sup>3</sup>

取水：灌漑 2,664km<sup>3</sup>

都市 381

工業 785

大気へ蒸発：70,000km<sup>3</sup>

家畜の草地 840

天水作物 4,910

灌漑作物 灌漑1,570、降雨 650

都市 53

工業 88

貯水池 208

陸地：130億ha

草地 34.3億ha

天水農地 8.6億ha

灌漑耕作地 3.4億ha



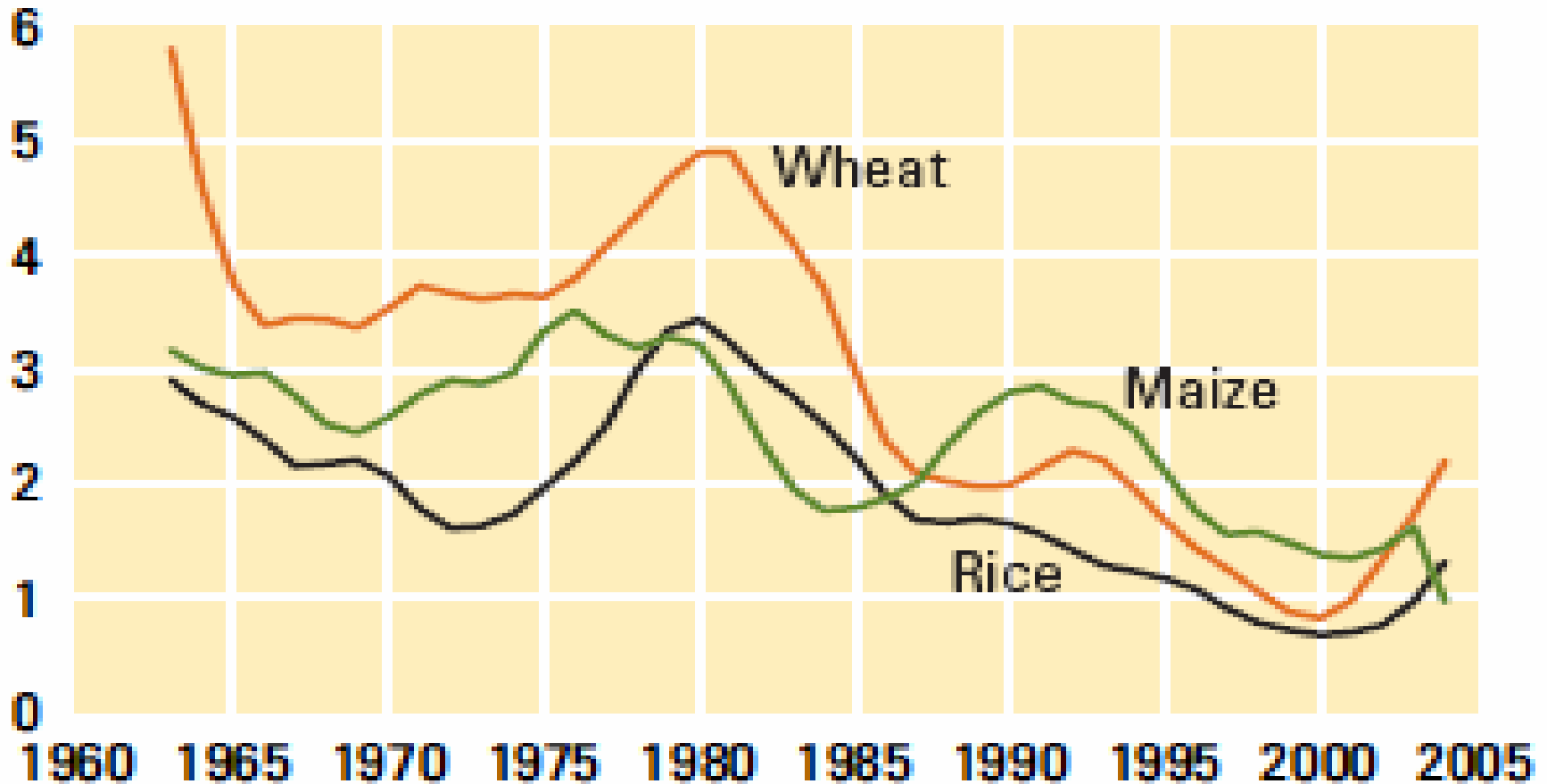
# 世界の穀物生産の動向

Year	Area (millions of hectares)	Yield (metric tons per hectare)	Production (millions of metric tons)
1970	676	1.77	1,192
1980	717	2.16	1,550
1990	708	2.75	1,952
2000	674	3.06	2,060
2005	686	3.27	2,240

Source: FAO 2006b; Falcon and Naylor 2005.

# 生産性の伸び率の低下

Average annual growth rate, %



Source: FAO 2006a.

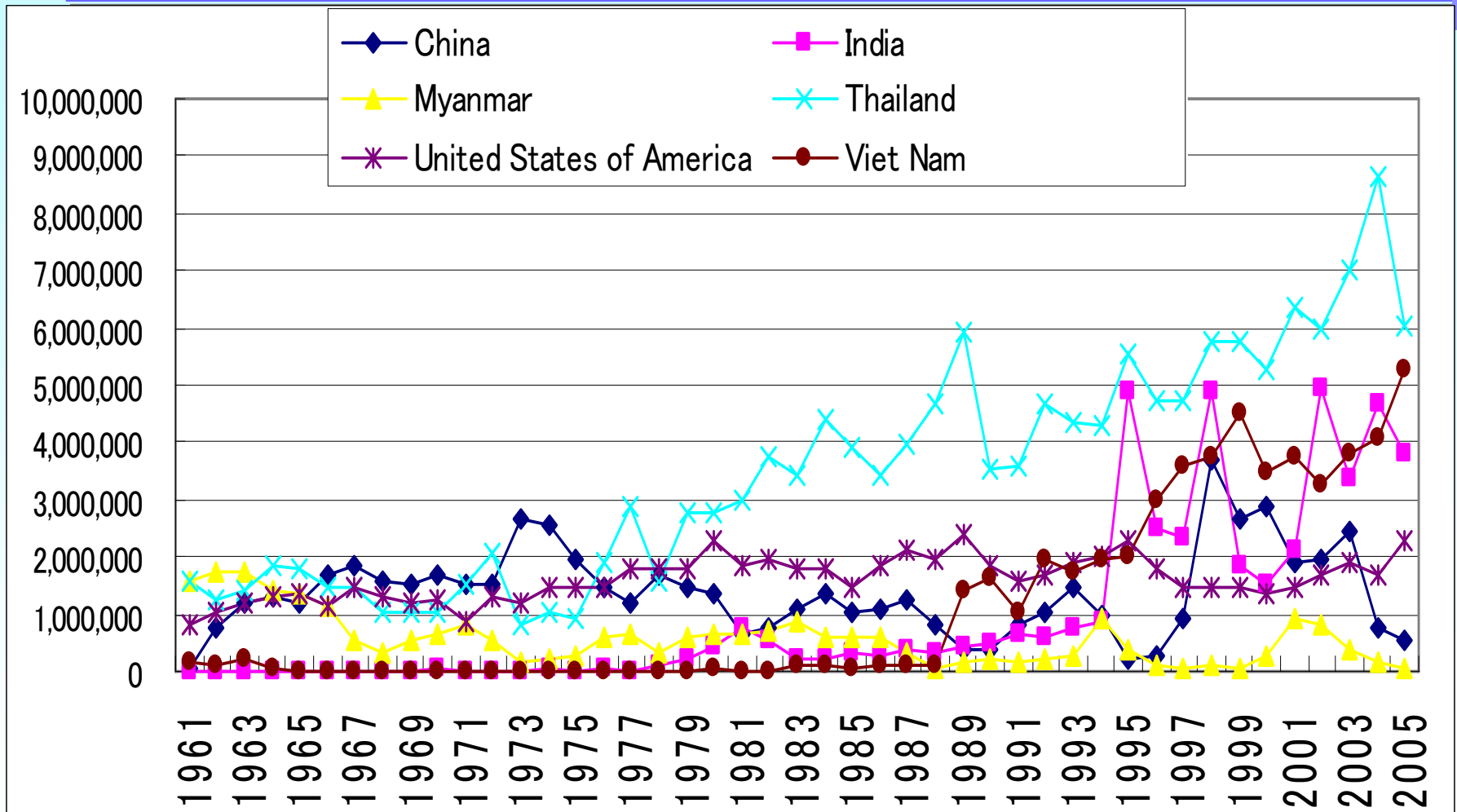
Note: Data smoothed by locally weighted regressions.

# 中国とインドの食糧需給

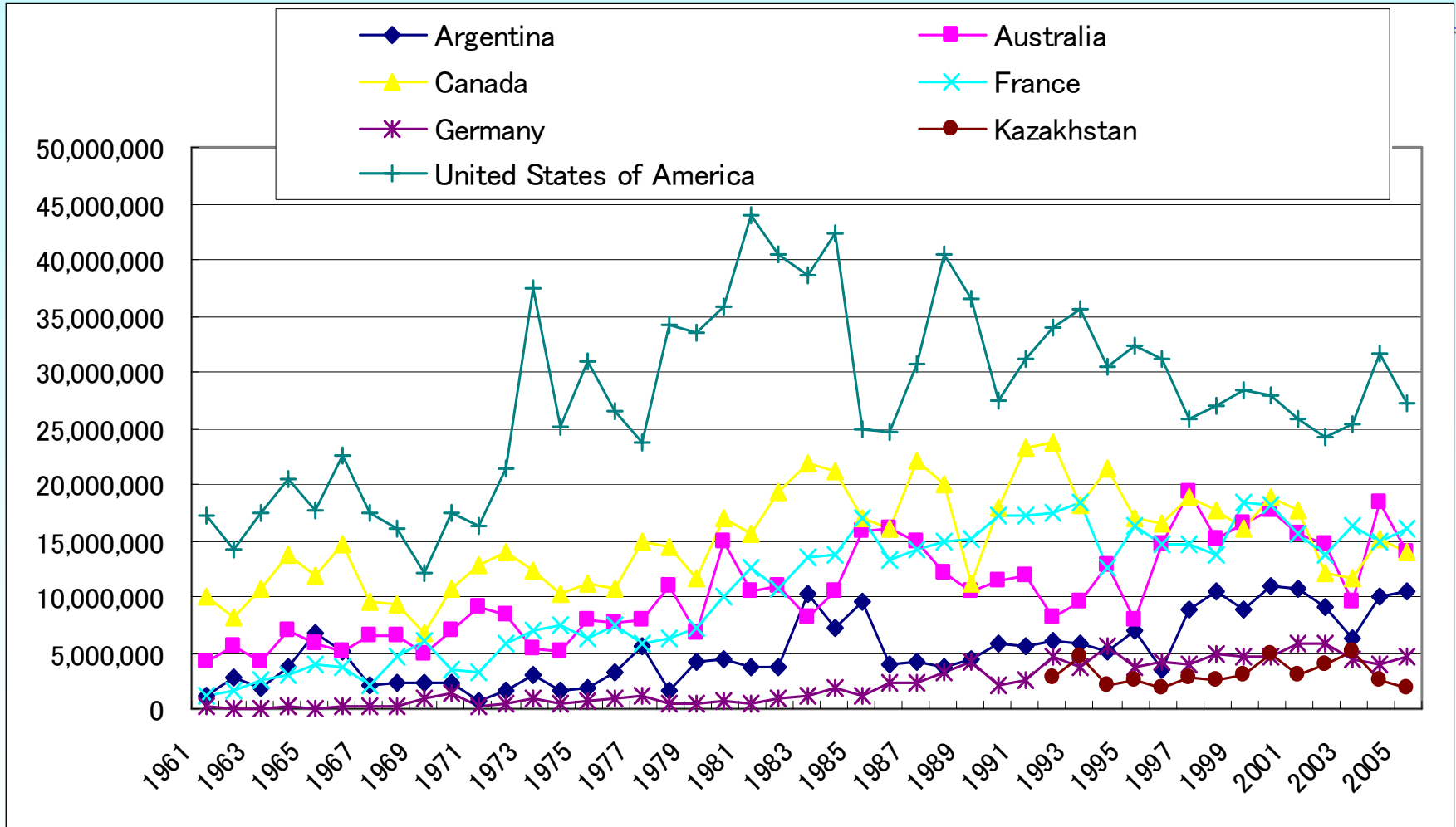
---

- インドでは引き続き人口増大
    - 2050: インド 15億人、中国 14億人
  - 経済成長にともなう食事の質の変化
  - 面積的拡大の余地は少ない
  - 中国の収量は高い投入により高レベル
  - インドの農業は非常に手厚い保護により、支えられている。
  - 肥料などの投入増大の可能性
  - 水資源は両国とも厳しい状況
-

# 米の主要輸出国



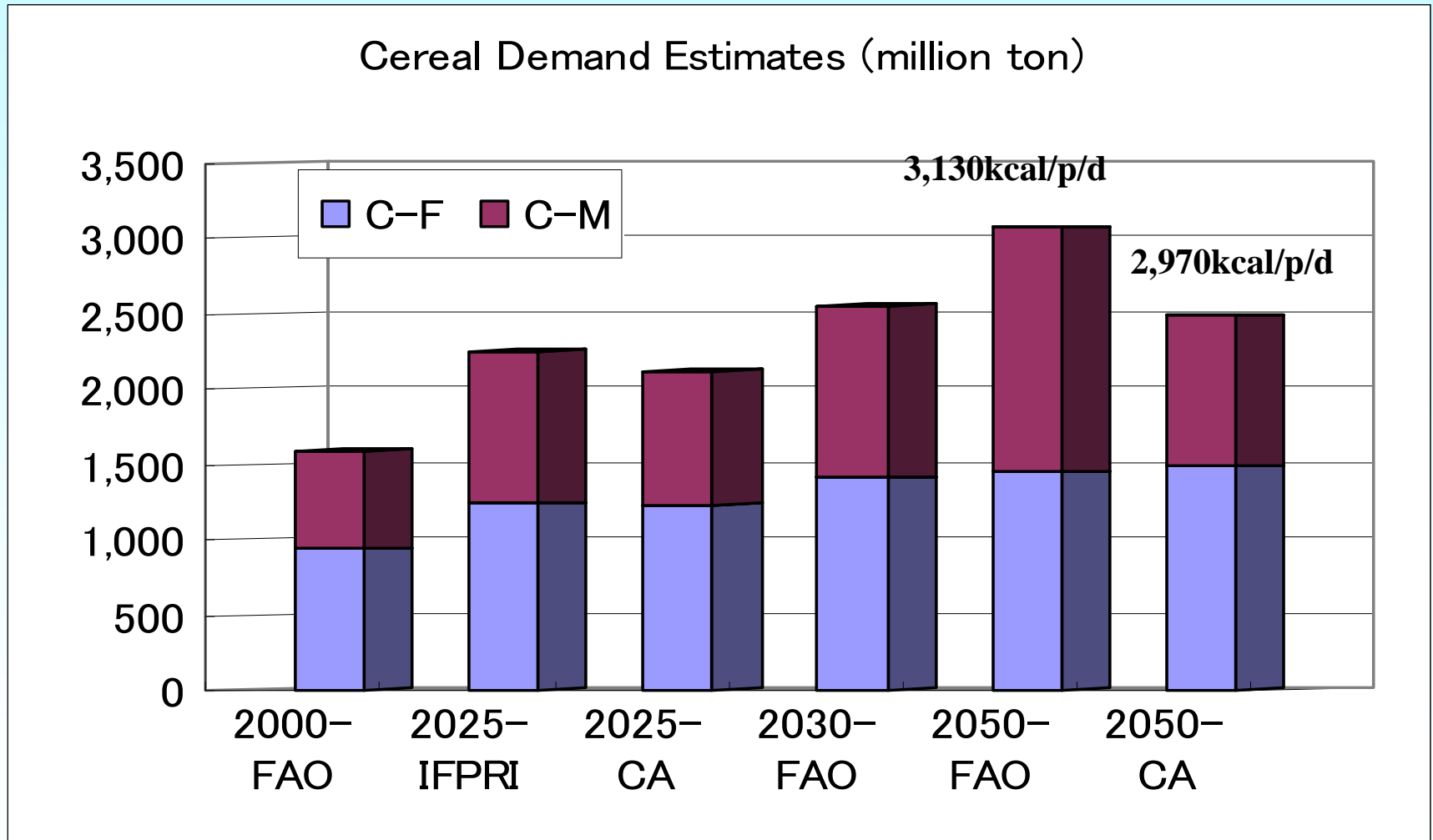
# 小麦の主要輸出国



## 4. 食糧生産の展望

- 人口、所得の向上、消費パターンの変化により、2050年までに70-90%の需要増大。
  - 25%の増大は、乳畜産物、野菜、果物などの高価値作物消費による。
  - 肉:37→48kg → 飼料穀物の需要増大(白肉は赤肉の1/2の飼料で済む)
- 都市化により、生活用水、工業用水の需要は2.2倍に
- 環境への水の配分
- 気候変動による不安定化
- 天水農業(60%の生産)の改善ポテンシャル高い:

# 穀物需要增大予測



IWMI: CA

# 水需要予測(シナリオ分析)

- IWMI Watersim モデル (食糧需給と水需給)
  - 天水(天水農業投資、生産性の向上: 2.7→4.5 t/ha、土壌栄養分の管理、土地劣化の防止、作付け地域拡大)
  - 灌漑(水管理、新規水開発、廃水利用、水生産性向上、多目的利用): 3.4億ha→4.5億ha
  - 貿易(農産物貿易の推進: 水の多い地域から、水不足地域へ)
  - IWMI CA(地域別適正シナリオの組み合わせ)
  - 生産性向上なし

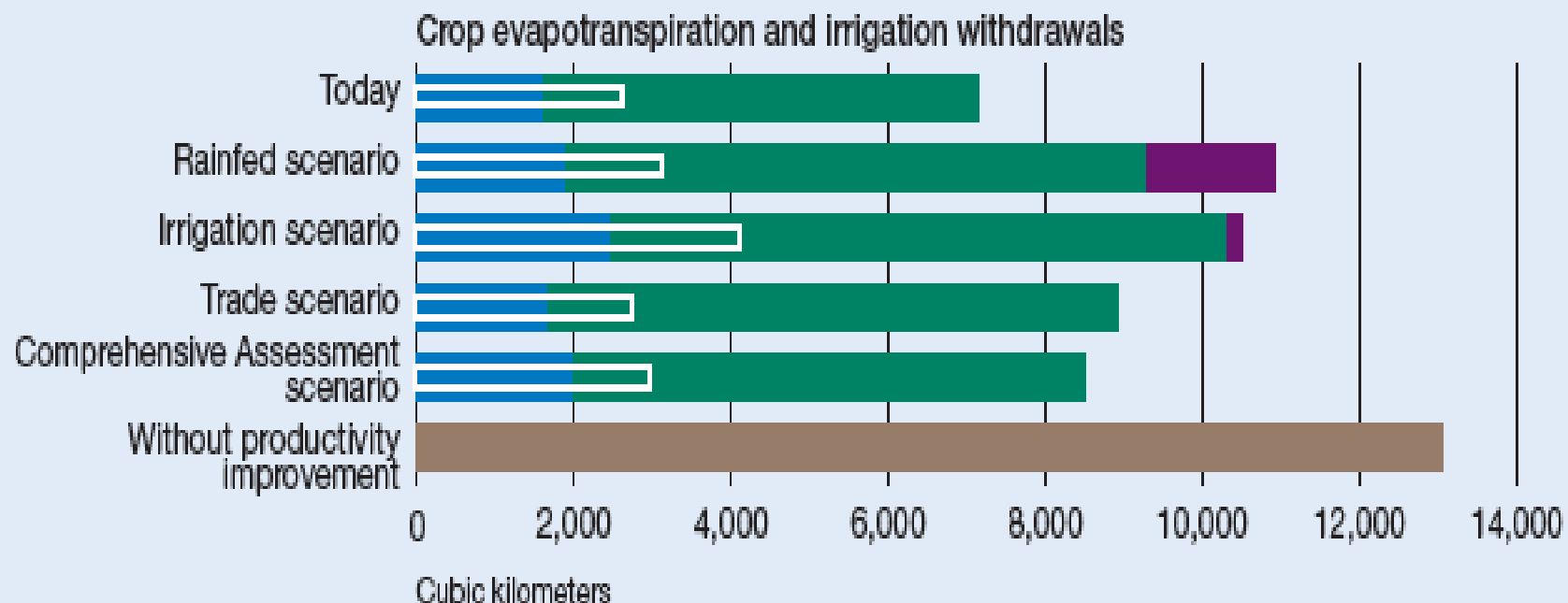


# シナリオ分析の結果

	基準年	天水 2050		灌漑 2050		貿易2050	CA2050	CA増大
	2000	高収量	低収量	面積拡大	収量向上			%
灌漑面積(million ha)	340	340	340	450	370	340	394	16
天水面積(milionl ha)	860	920	1,320	1,100	1,140	1,040	920	7
穀物収量 灌漑(t/ha)	3.70	5.02	4.94	5.04	6.55	4.94	5.74	55
穀物収量 天水(t/ha)	2.46	4.24	2.96	2.95	2.97	3.90	3.88	58
穀物貿易(million t)	262	510	620	430	480	700	490	87
消費に対する貿易(%)	14	17	22	14	16	23	16	-
灌漑取水量(km3)	2,630	3,155	3,160	4,120	3,460	2,760	2,975	13
投資コスト(bilion \$)	46	40-250	30-210	415	300	25-110	250-370	-

IWMI: CA

# シナリオ分析の結果(水)



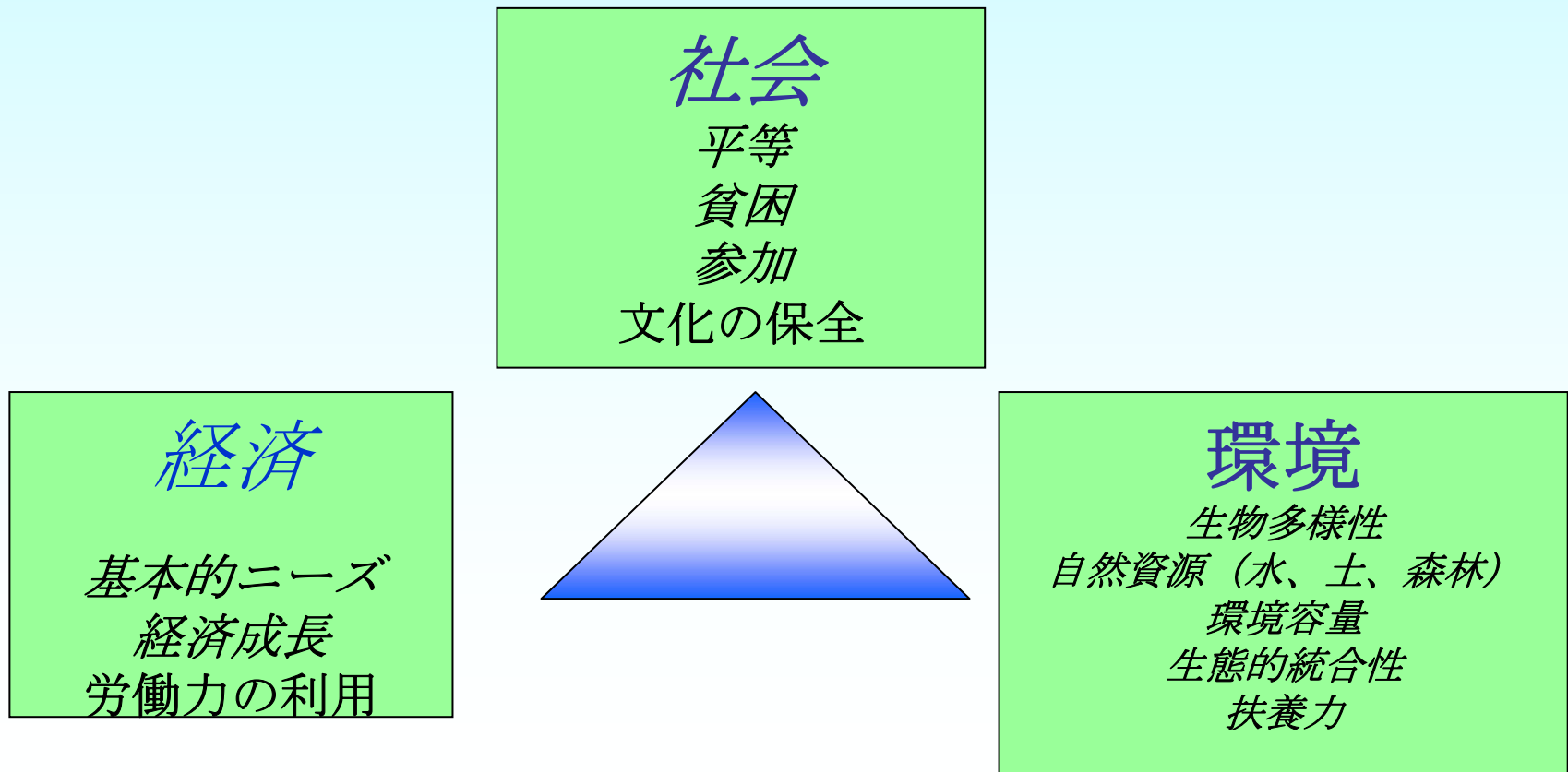
# 流域レベルの水管理

---

- 灌漑農業 + 天水農業（60%の食料）
  - 地表水 + 地下水 + 廃水
  - 多目的な利用（農業 + 水産 + 畜産 + 林業 + 生活用水 + . . . . .）
  - 公式な灌漑システム + 非公式な灌漑システム
  - 経済的な役割 + 多面的な機能。生態システムサービス
-

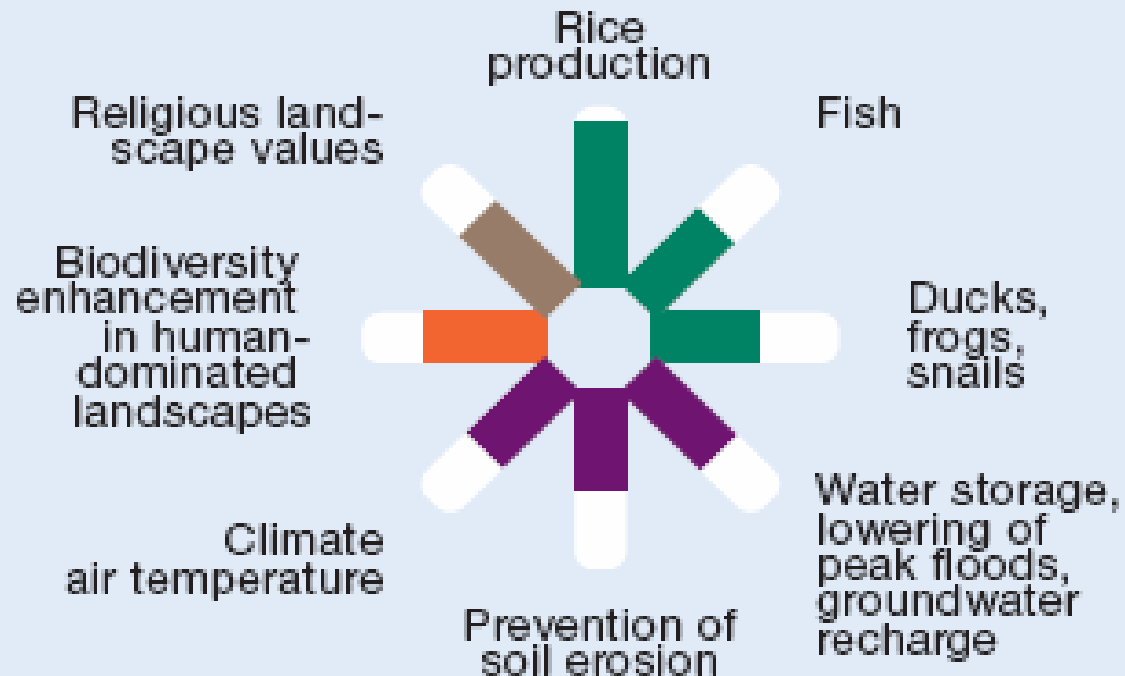
# 5. 持続可能な発展

- 今のシステムに、どう社会や環境要因を取り込むか？（生態サービス、オールターナティブ貿易）



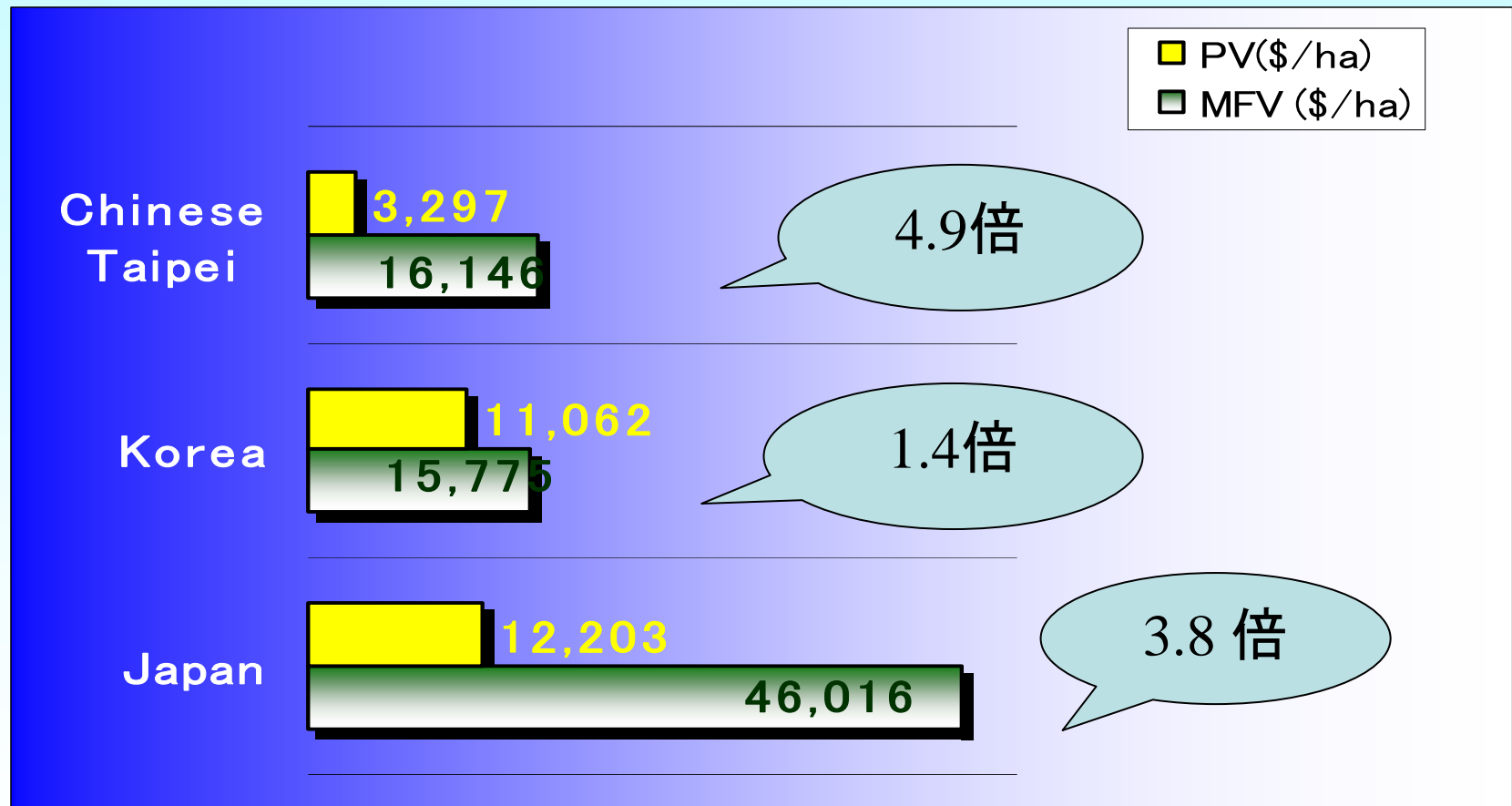
# 水田の有する生態サービス：多面的機能

- Provisioning services
- Regulating services
- Supporting services
- Cultural services



Source: Adapted from Foley, J., R. DeFries, G.P. Asner, C. Barford, G. Bonan, S.R. Carpenter, F.S. Chapin, and others, 2005, "Global Consequences of Land Use," *Science* 309 (22 July): 570-74; chapters 6 and 14 in this volume.

# 生産価値(PV)と 多面的機能(MFV)の比較



水田の多面的機能: 日本全体で8.2兆円

# エネルギーと農業生産

- 投入エネルギーに対する産出エネルギーの低下: 高投入高収量農業
  - アメリカ農業: 1カロリーのエネルギー生産するために、10カロリーのエネルギーを消費
  - アメリカの全エネルギー消費量の4%が食糧生産に、流通、加工、包装などに10-14%のエネルギー使用(レフキン: 水素エコノミー)
  - 1Jの生産に、5.8Jのエネルギー(Coley)
- 低投入型農業の可能性
  - 人口扶養力?

# 新しい潮流

- 環境価値への補償
  - クリーン開発メカニズム (CDM):水田からのメタン抑制
  - 環境保全型営農:EUの農業環境施策(GFP)
- 環境コストへの課税:炭素税、環境税
- 環境・社会にやさしい製品としてのブランド化:
  - エコラベル、森林認証、グリーン電力
  - カーボンフットプリント:人間活動が地球温暖化に及ぼす影響(栽培－廃棄)を、CO<sub>2</sub>の排出量に換算した指標
    - 2008年:ガイドライン作成(経済産業省)、2009年モデル事業
  - フードマイレージ、トレーサビリティ
  - 健康志向とのタイアップ(有機産品)、地産地消、
  - オールターナティブ・トレード(貧困への配慮)



# 今後の食糧・環境問題の展望

- 不確実性

- 未だ8億人余りが栄養失調の状態、12億人が貧困
- 環境はオーバーシュートの状況、気候変動、環境劣化、エネルギー価格や資源価格の上昇、水や土地資源の確保競争  
→ ???
- 経済は混迷を深める(アメリカ発の経済恐慌???)



- 資源利用の効率、生産性の向上(水、土など)→技術革新、制度改革(平等な配分)← 研究開発の必要性
- 低投入(エネルギーも含む)、地域資源循環型生産システムの開発
- 貧困解消を中心とした、開発アプローチ
- 先進国の消費(欲望)のコントロール

# 最後に

- 複合的なインパクト(資源の限界、環境劣化、経済成長と消費の増大、気候変動、資源獲得競争)
- これまでのシステム、枠組みでは限界
- だれも認めたがらない(BAU)
- 新しいアプローチ
  - 再生可能エネルギー、資源
  - 環境調和型(エネルギー的持続可能性)
    - 環境価値・コストを考慮した生産と流通:LCA
    - 地域資源活用型、
  - 消費 (地産地消、スローフード)
  - 自給権とWTO
  - オールタナティブトレード(環境価値、貧困価値の一体化)