

平成22年3月12日

# 環境システム学： 回顧と展望

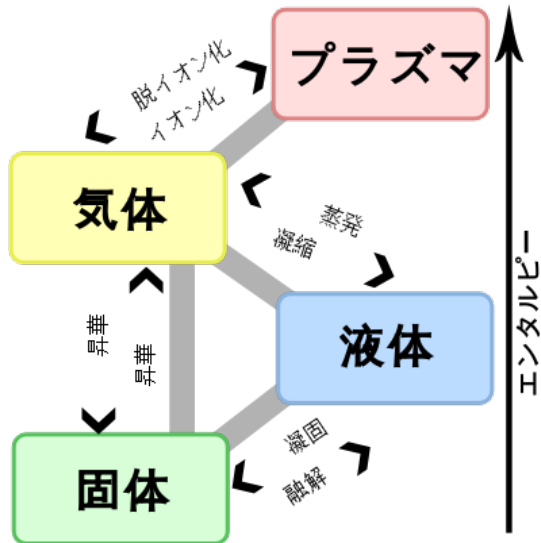
名古屋大学大学院環境学研究科

井村秀文

# 環境問題との出会い、人との出会い

- 昭和22年(1947)・・・石川県に生まれる
- 昭和30年代・・・・・・・**所得倍增計画**、生活環境の激変、家電製品の普及、自動車の増大
- 昭和39年(1964)・・・**東京オリンピック**
- 昭和40年(1965)・・・東京大学入学、東京の大気汚染
- 昭和43年(1968)・・・企業見学(ガス、鉄鋼、造船)、**北九州市(灰色の空、洞海湾)**、**大学紛争**
- 昭和44年(1969)・・・大学院、統計物理学・**不可逆過程の熱力学**を学ぶ  
**熱的揺らぎと相転移、生命の進化、複雑系・非線形問題**
- 昭和48年(1973)・・・**ローマクラブ「成長の限界」**  
Meadows : “Toward Global Equilibrium”、**システムダイナミクスとの出会い**
- 昭和49年(1974)・・・環境庁入庁
- 昭和52年(1976)・・・大蔵省**経済理論**研修
- 昭和53年(1977)・・・環境庁**国際課**、国際的舞台へ
- 昭和54年(1979)・・・外務省**OECD**代表部(パリ)へ、**経済と環境**(環境の経済学)
- 昭和57年(1983)・・・環境庁企画調整局  
環境保全長期構想、地域環境管理計画、環境アセスメント
- 昭和60年(1985)・・・**横浜市公害対策局**へ、地方の環境行政
- 昭和62年(1987)・・・環境庁環境保健部、公害健康被害補償法改正、大気汚染健康影響調査
- 昭和63年(1988)・・・**九州大学工学部**附属環境システム工学研究センター助教授  
**地球温暖化問題**の研究開始
- 平成3年(1991)・・・九州大学教授、**中国の環境問題研究**(ICSEAD(国際東アジア研究センター))
- 平成12年(2000)・・・**名古屋大学**へ

# 相転移



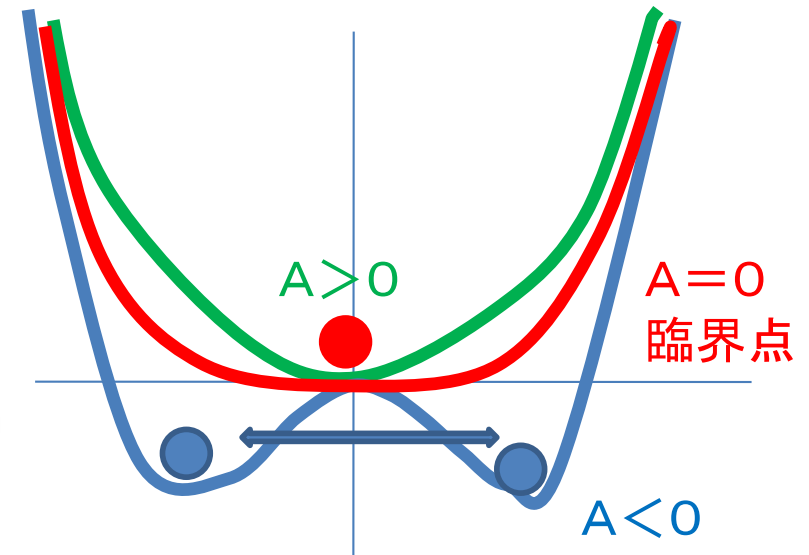
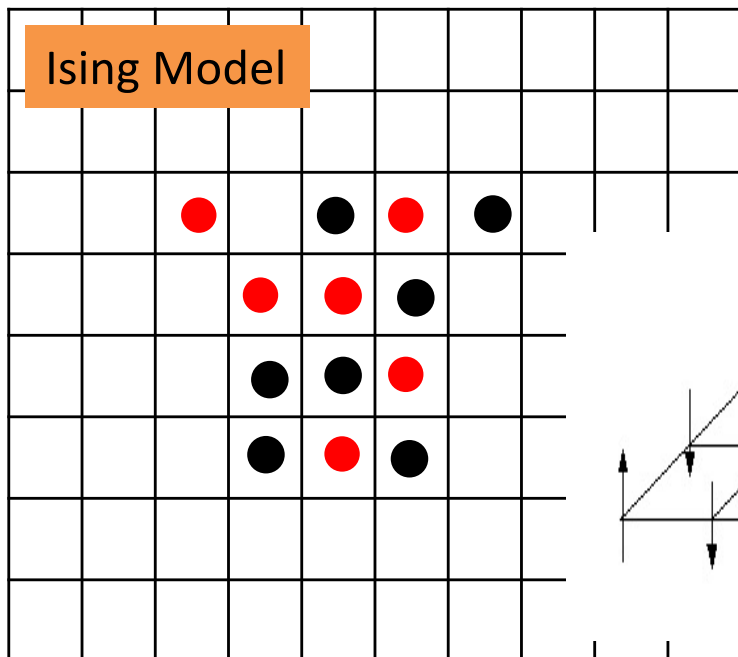
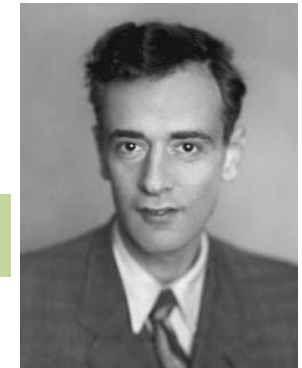
# 複雑系の科学(1)



パラダイムシフト  
革命  
価値観の転換  
カタストロフィー

Landau 理論

$$F = x^4 + Ax^2$$



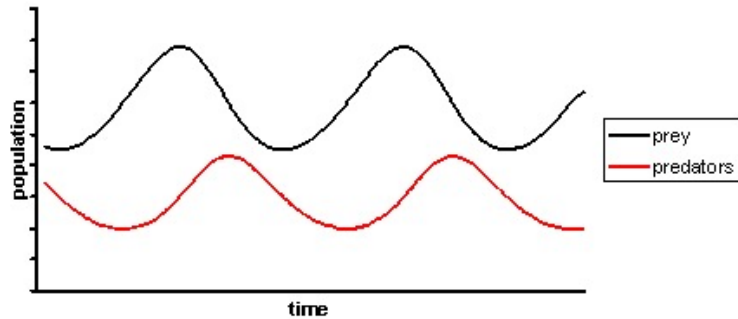
対称性、対称性の破れ  
秩序パラメータ

Cellular Automaton Model, 土地利用変化、空間パターン形成

# 複雑系の科学(2)

## 非線形現象

捕食者と被食者 (Lotka-Volterra Model)



## 地球: 非平衡系、大気・海洋循環

太陽エネルギー



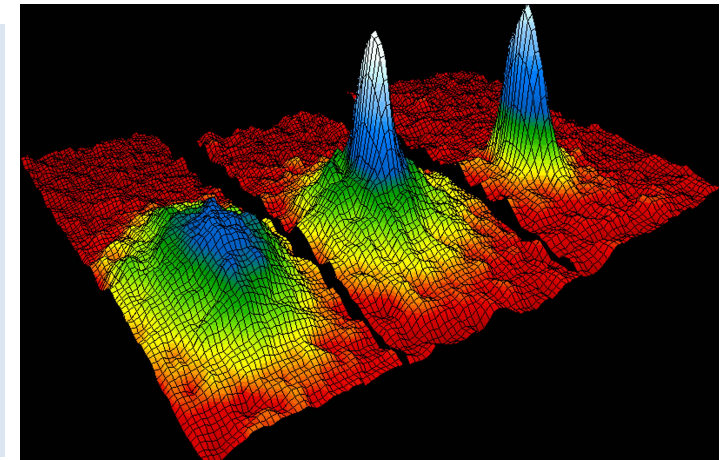
## 空間的、時間的な周期構造 — Ilya Prigogine



熱的揺らぎによる散逸構造  
開放・非平衡系における自己組織化  
化学反応(チューリングパターン)  
対流(レイリーベナール)

## 物理・数理モデルの発展と応用

- ・生物学・・・数理生態学、種の競争・ダイナミクス
- ・経済学・・・景気変動、株価変動、恐慌
- ・社会・心理学・・・集団心理、政治
- ・ゲーム理論・・・囚人のディレンマ
- ・都市・・・機能の配置、空間経済学

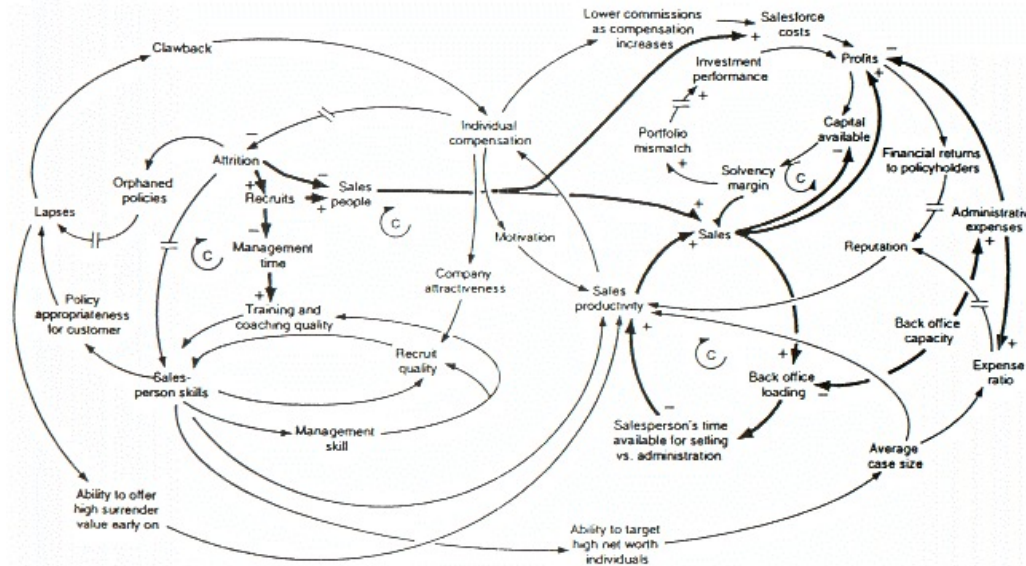


# 複雑系の科学(3) 未来は予測可能か?

SD (System Dynamics)  
要素の数: 非常に多い  
非線形性  
多数のフィードバック

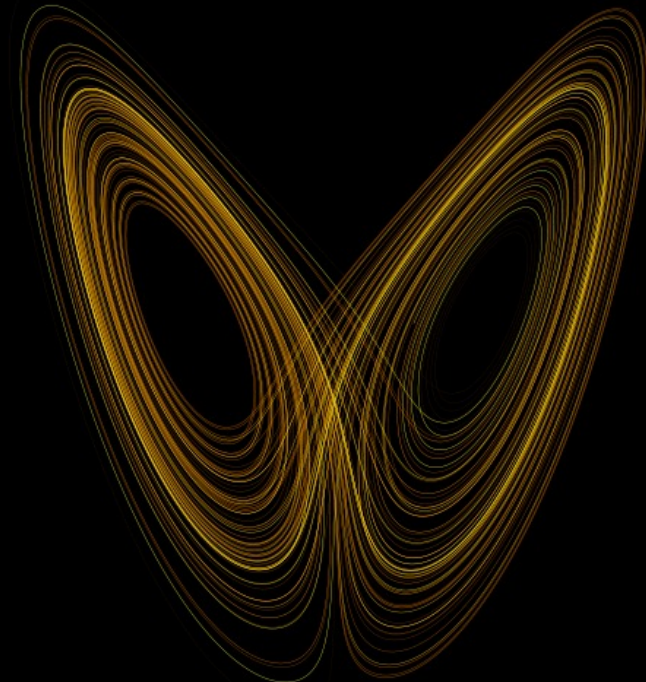
パラメータ値依存性

予測不能性  
カオス



「決定論的非周期な流れ  
(Deterministic Nonperiodic Flow) (1963)

Lorenz attractor



地球温暖化将来予測の  
不確実性

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= -px + py \\ \frac{dy}{dt} &= -xz + rx - y \\ \frac{dz}{dt} &= xy - bz \end{aligned}$$

p = 10、r = 28、b = 8/3



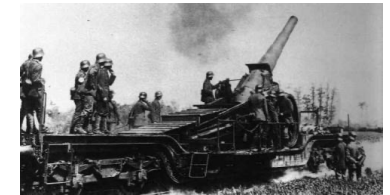
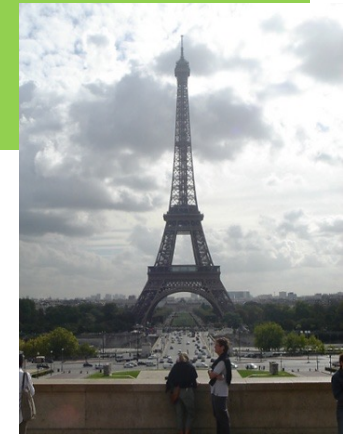
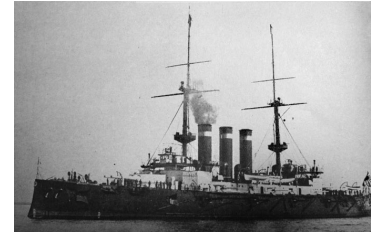
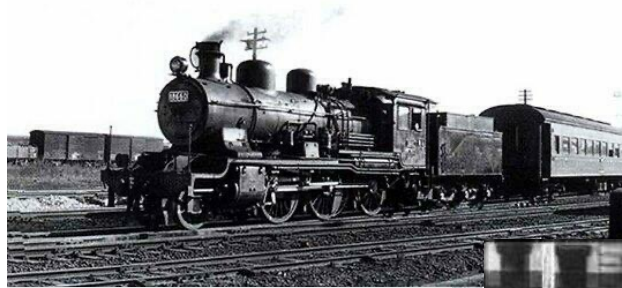
# 低炭素社会

18世紀後半  
産業革命

19～20世紀前半  
鉄と石炭の時代

20世紀後半  
石油の時代  
情報革命

21世紀  
低炭素社会  
エコ産業革命



# 第二次世界大戦後の世界とアジア

## 1. アジアアフリカ諸国の独立

- 1945年 終戦
- 1955年 アジアアフリカ会議(AA会議、バンドン会議)・・・ネルー、スカルノ、周恩来、(鳩山一郎)

## 2. 1960～1990年代 東アジアの奇跡

- 日本の高度成長、漢江の奇跡
- 1978年 中国が改革開放政策に転換

## 3. 環境政策

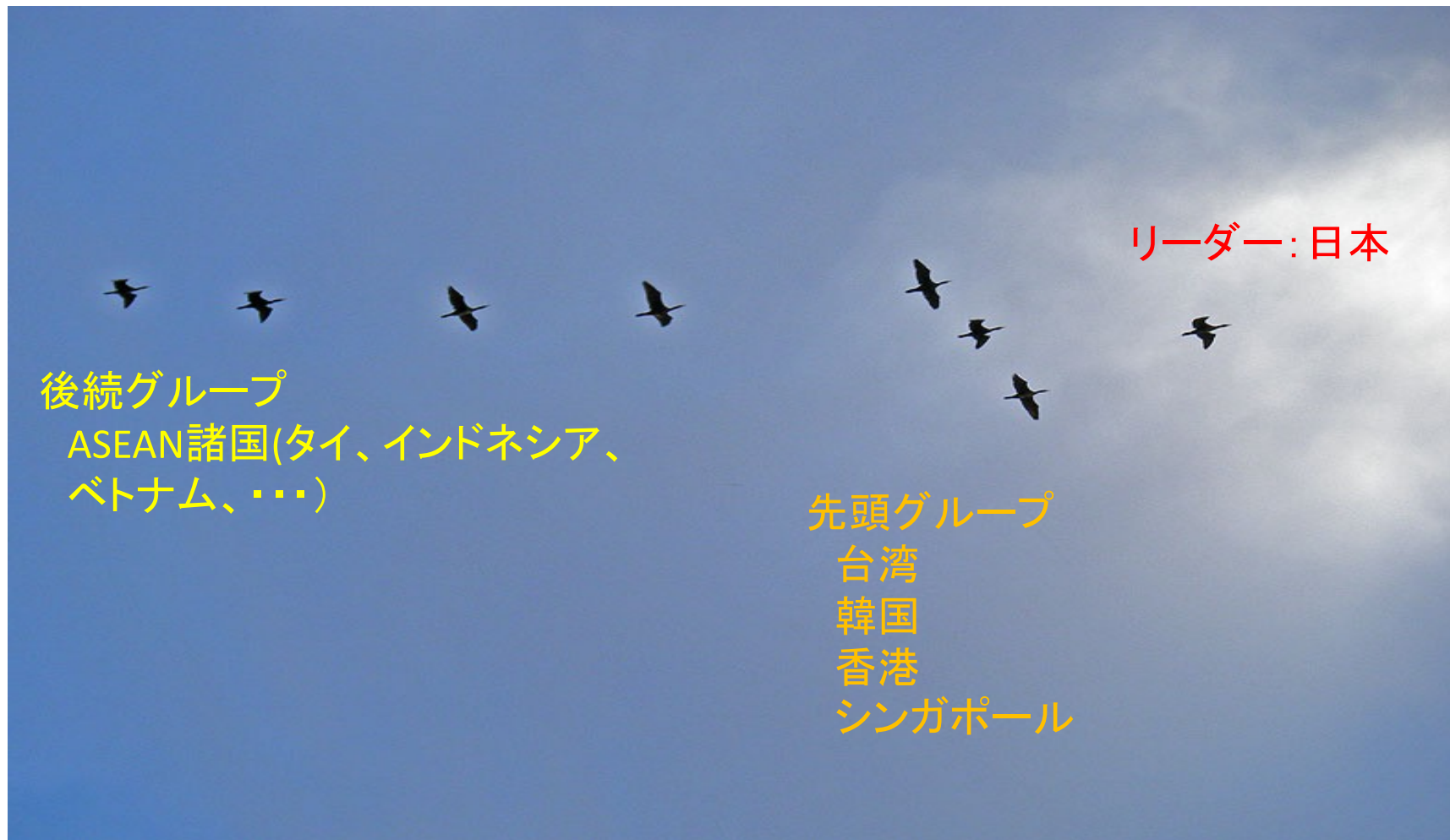
- 1969年 日本「公害対策基本法」改正
- 1979年 中国「中華人民共和国環境保護法」試行
- 1988年 韓国「環境政策基本法」制定
- 1993年 日本「環境基本法」制定
- 2007年 韓国「持続可能発展基本法」制定



# 雁行モデル

(Flying Geese Pattern Model)

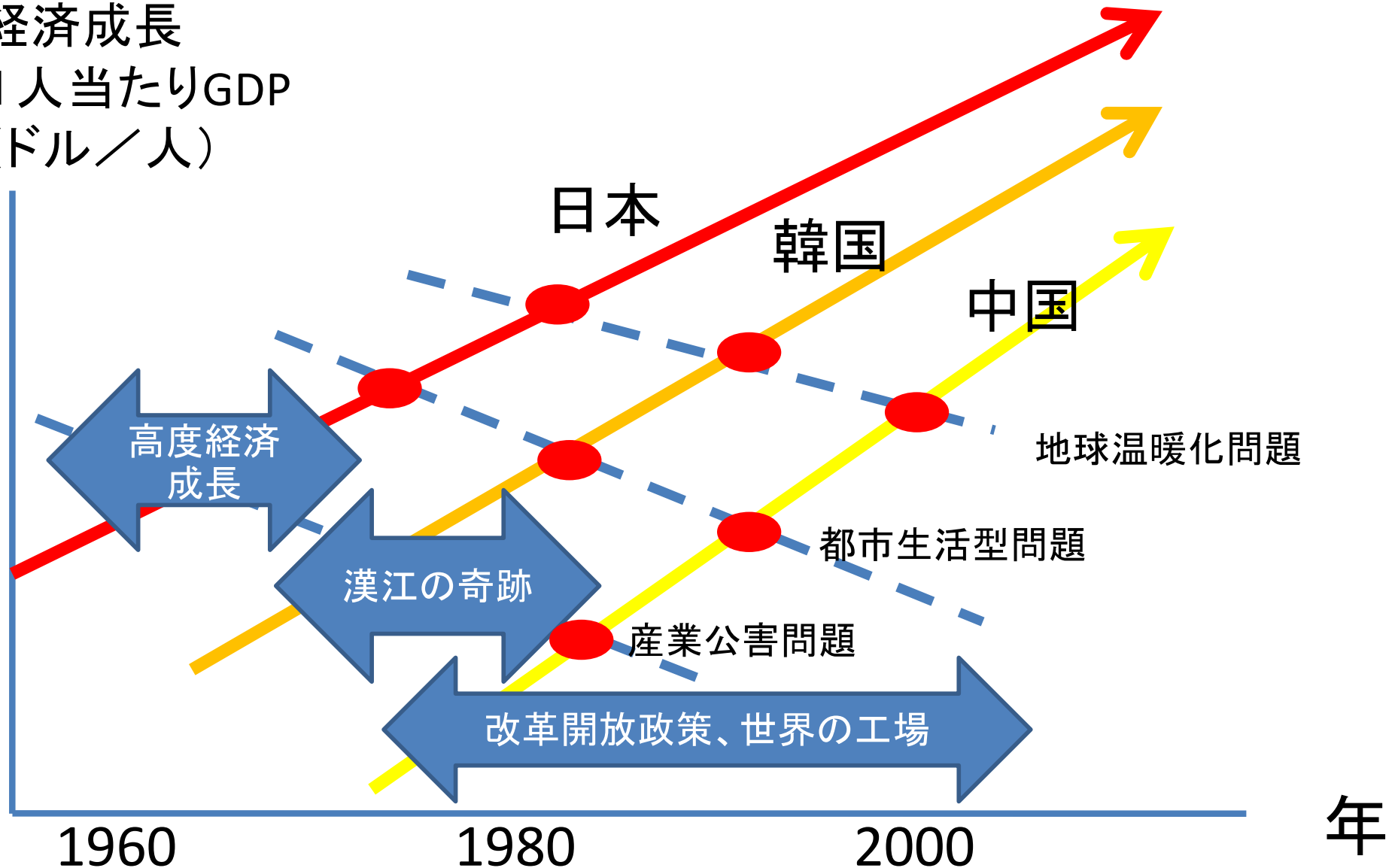
大来佐武郎(1985年)・・・東アジア諸国の経済成長





# 経済と環境に関する雁行モデル

経済成長  
1人当たりGDP  
(ドル/人)



# 東アジアの経済成長と環境問題

## 1. 再起的展開

- 後発国は先発国と同じような問題を繰り返す
- しかし、問題発生、対策実施の時期（経済発展の段階）には差がある・・・経済発展の早期段階における問題認知と対策実施の可能性
- 日中韓3国の比較研究（1960～1990年代について、井村ら、原嶋・森田）
  - ・ 問題の種類と発生時期（産業公害、都市生活型、地球環境問題）
  - ・ 対策法、基準の内容と導入時期
  - ・ 対策技術（脱硫装置、下水道整備）の開発・導入
  - ・ 企業・市民の意識変化

## 2. 後発性の利益

- 蛙跳び型発展パターン（Leapfrog development）
- 環境クズネッツ仮説（Environmental Kuznetz Curve）

# 雁行型経済発展論と環境問題(1)

雁行モデル(大来佐武郎、1985)

雁行型経済発展論(赤松要・小島清、渡辺利夫ら)

## ①国内の産業発展プロセス

- ◆ 輸入→輸入代替→輸出
- ◆ 低付加価値産業で生起し、より高次の付加価値の産業で繰り返される
- ◆ 労働集約型(軽工業)→資本集約型(重化学工業)→資本知識集約型(機械産業)

## ②国際伝播

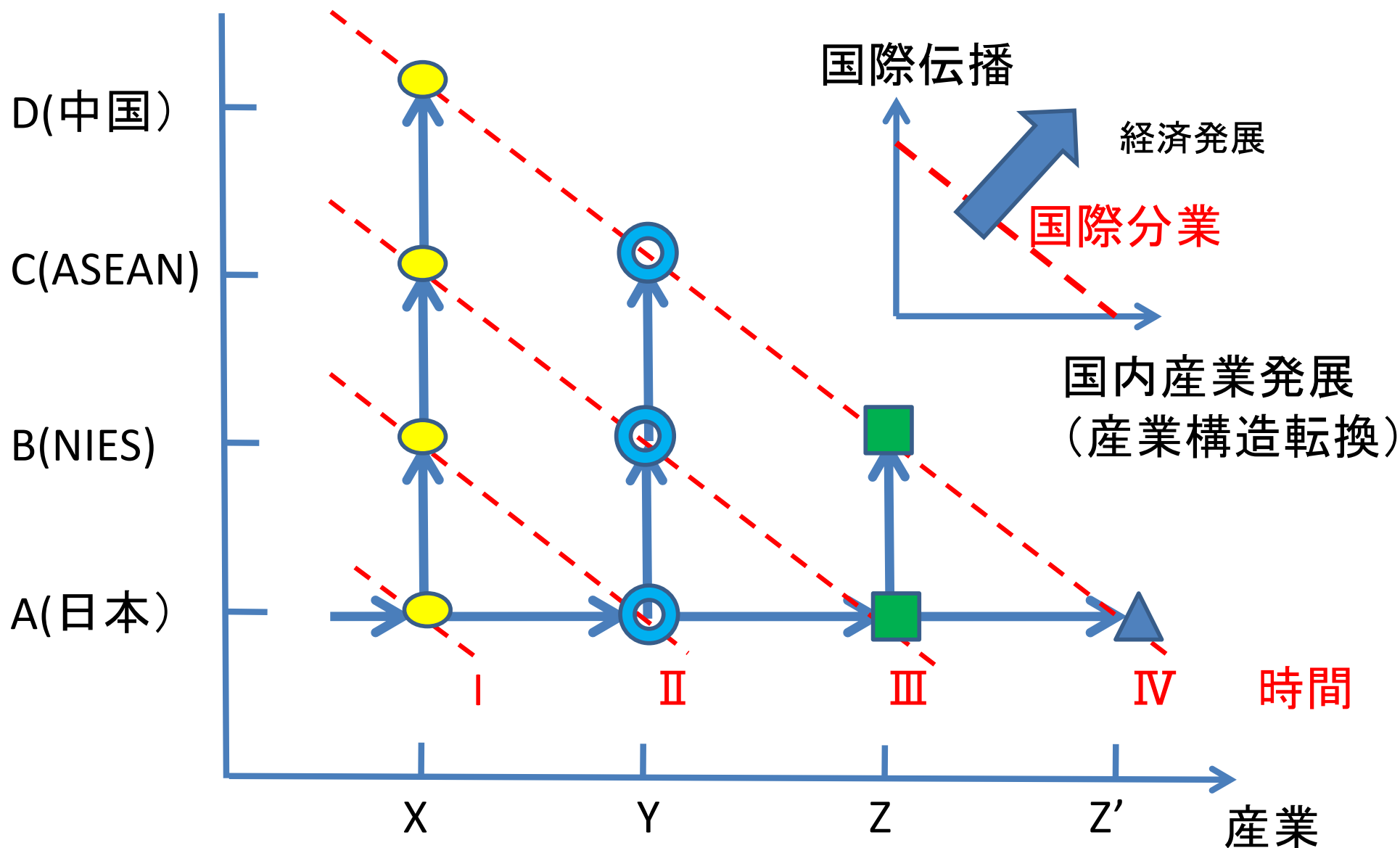
- ◆ 先導国における資本と知識の蓄積
- ◆ 高付加価値産業の比較優位化、低付加価値産業の比較劣位化
- ◆ 低付加価値産業の海外移転(企業の海外進出、海外直接投資、途上国への生産拠点委譲)

## ③世界経済の同質化と異質化

- ◆ グローバル化の問題
- ◆ 世界貿易、合意的分業(協調的分業)
- ◆ 今後どうなるかは不分明

**環境問題にとっての意味は何か？**

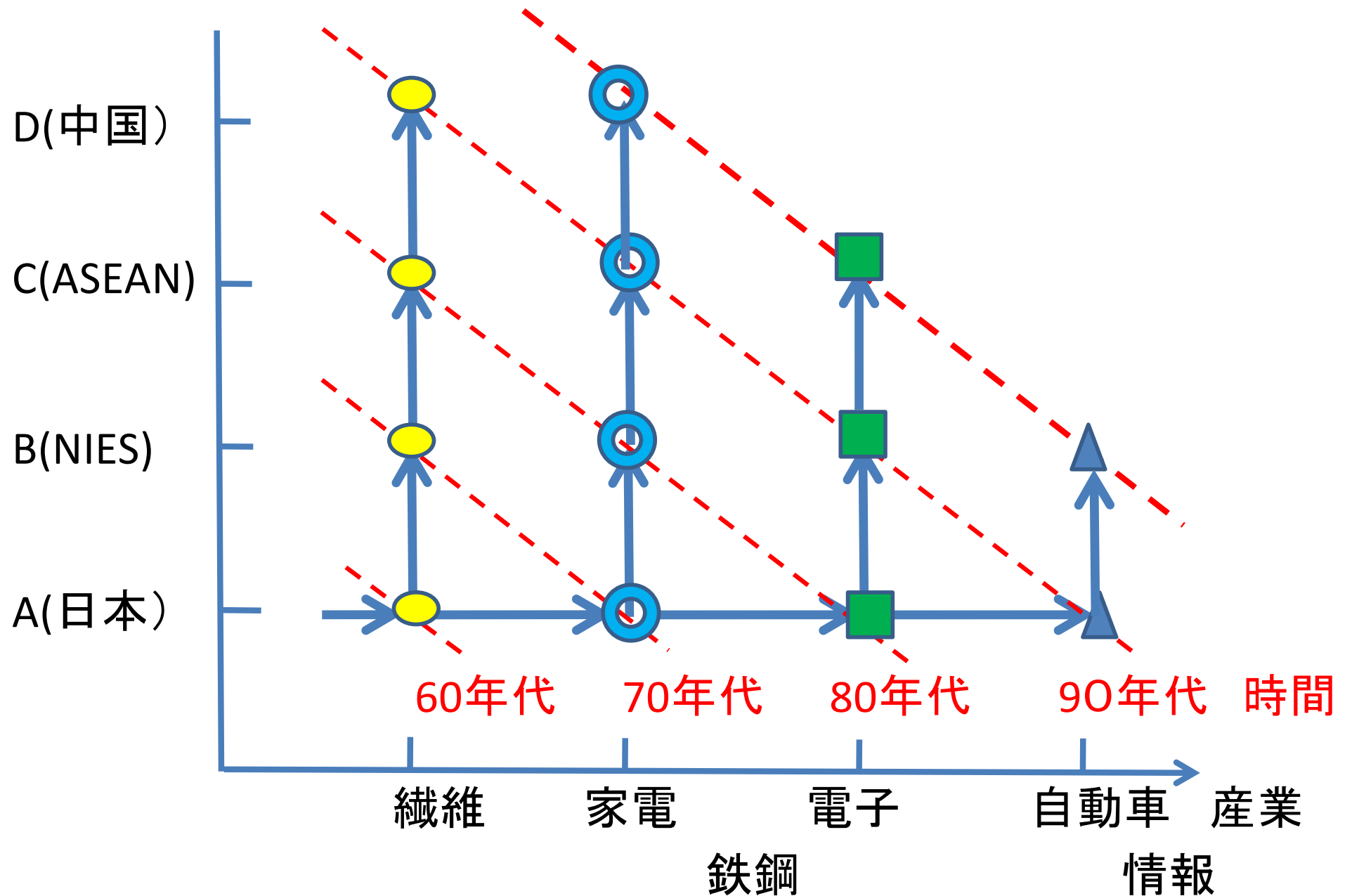
# 雁行型経済発展論と環境問題(2)



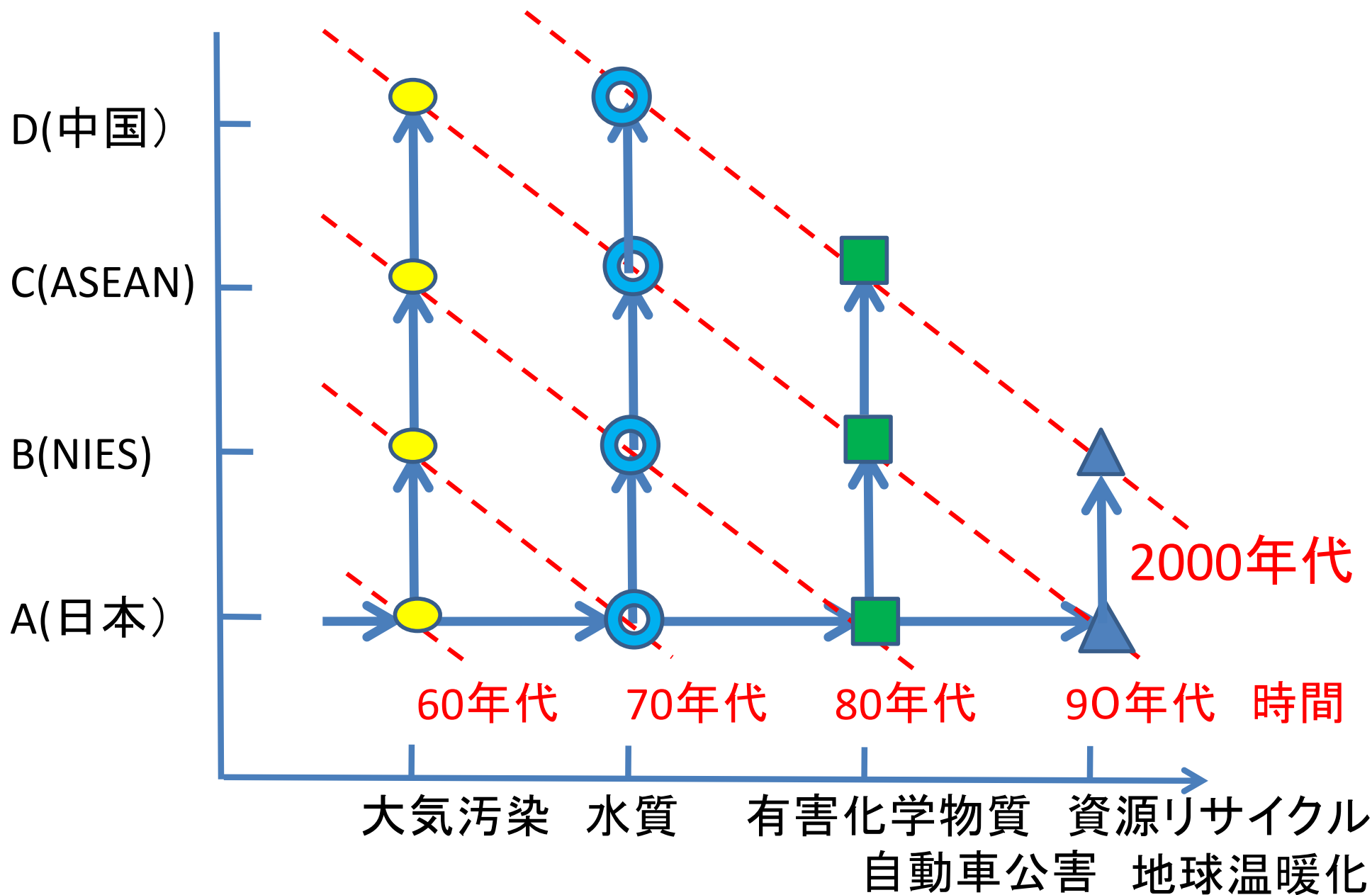
直接投資前線の拡張(出典:小島清「雁行経済発展論」)



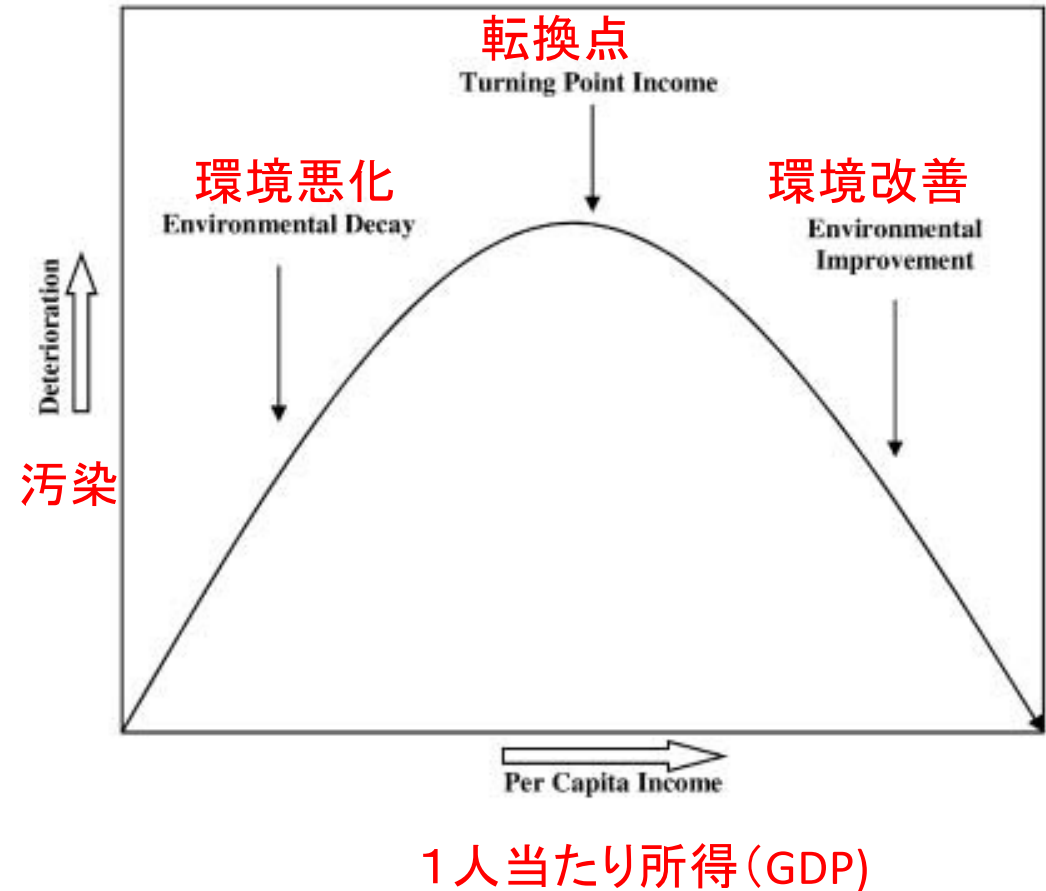
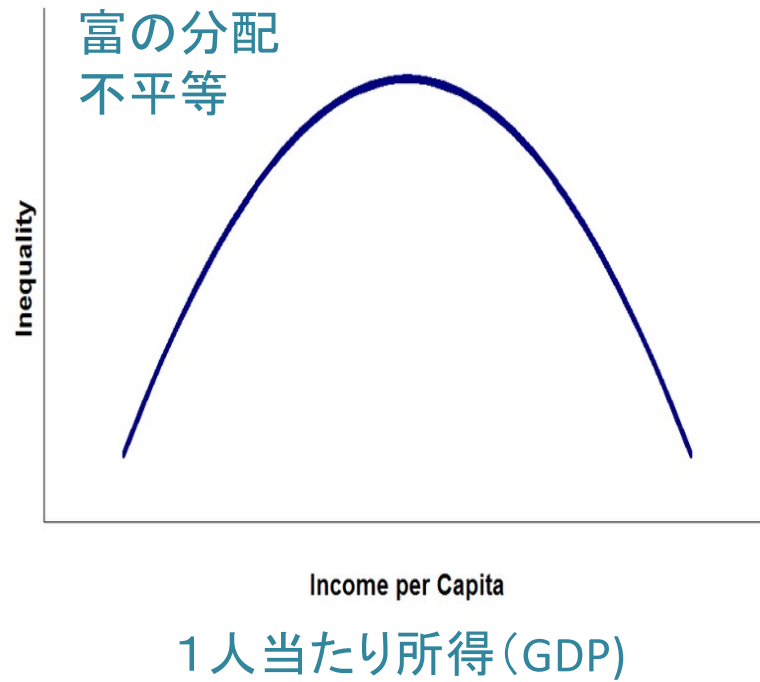
# 雁行型経済発展論と環境問題(3)



# 雁行型経済発展論と環境問題(3)



# 環境クズネッツ曲線



# EKC Turning Point (轉換点)

Pollutant	1985 US\$	2003 US\$
Carbon Dioxide	22,500 – 34,700	37,000 – 57,000
Carbon Monoxide	9,900 – 10,100	16,300 – 16,600
Nitrates	15,600 – 25,000	25,600 – 41,000
Nitrogen Oxide (industrial)	14,700 – 15,100	24,800 – 25,500
Nitrogen Oxide (transport)	15,100 – 17,600	25,500 – 29,700
Sulfur dioxide	5,700 – 6,900	9,600 – 11,600
Sulfur dioxide (transport)	9,400 – 9,800	15,800 – 16,500
Suspended particulates (nontransport)	7,300 – 8,100	12,300 – 13,600
Suspended particulates (transport)	15,000 – 18,000	25,300 – 30,400

Note: The values in 2003 U.S. dollars are estimated by multiplying by 1.69. One 1985 US\$ would be worth about \$1.69 in 2003.

Source: Cole, Rayner, and Bates (1997). Bruce Yandle, Madhusudan Bhattarai, and Maya Vijayaraghavan:  
 “Environmental Kuznets Curves: A Review of Findings, Methods, and Policy Implications”  
[http://www.perc.org/pdf/rs02\\_1a.pdf](http://www.perc.org/pdf/rs02_1a.pdf)



# 東アジアの経済発展と環境問題に関する研究

## 1. 環境問題の発生と対策：国際比較研究

(1) 雁行型モデルの適用性→かなり当てはまるが、限界もあり

(2) 日本企業の海外展開、直接投資、産業移転、空洞化と環境問題

- 各国の経済成長と国際貿易を介したダイナミックな変動

- 資源・エネルギー消費と内包環境負荷に関する国際産業連関分析

(3) 技術移転・環境技術協力、環境規制の国際ギャップと公害輸出

- 個別業種・地域のケーススタディ

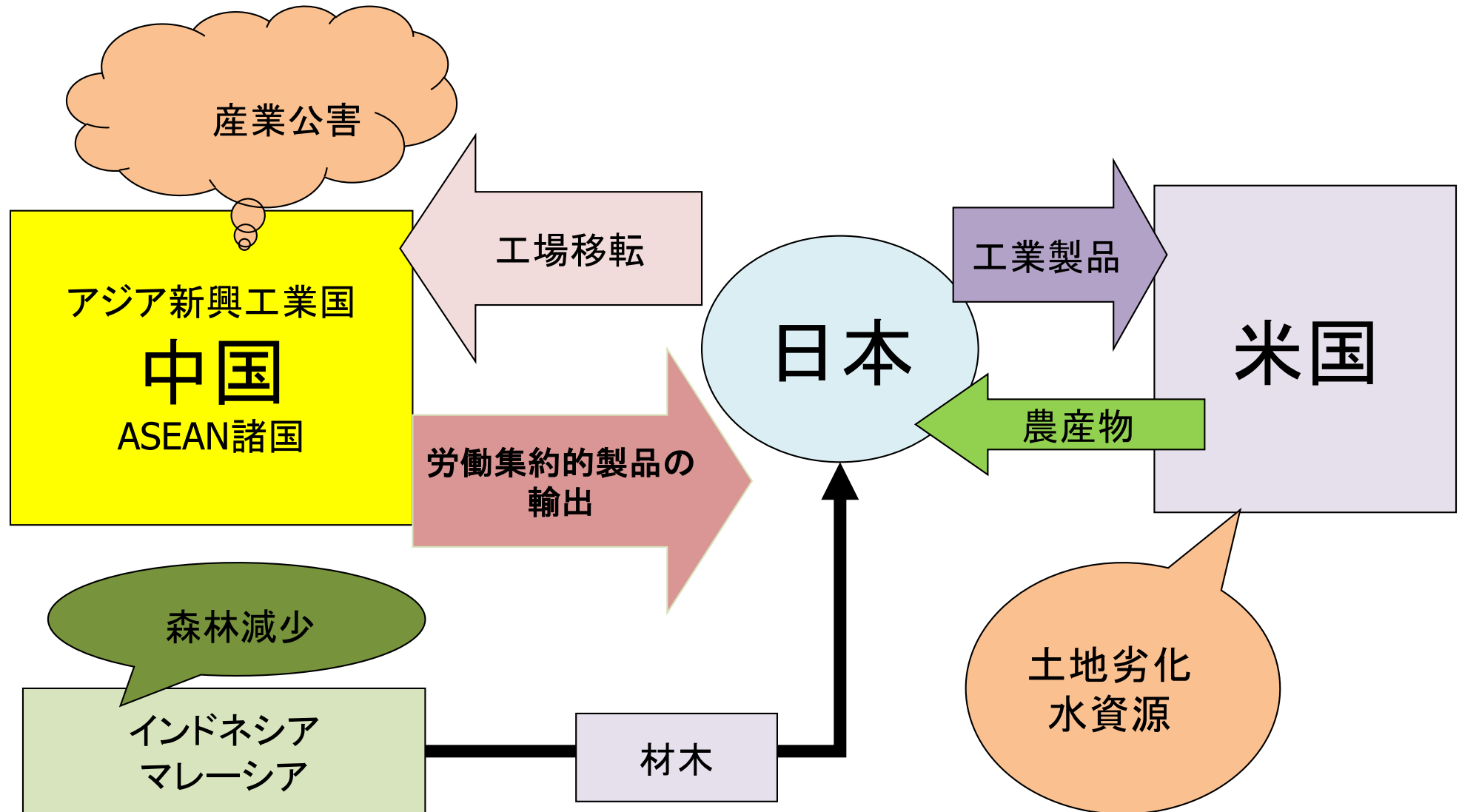
## 2. 速すぎた(速すぎる)経済成長

(1) 圧縮工業化・・・対策が追いつかない

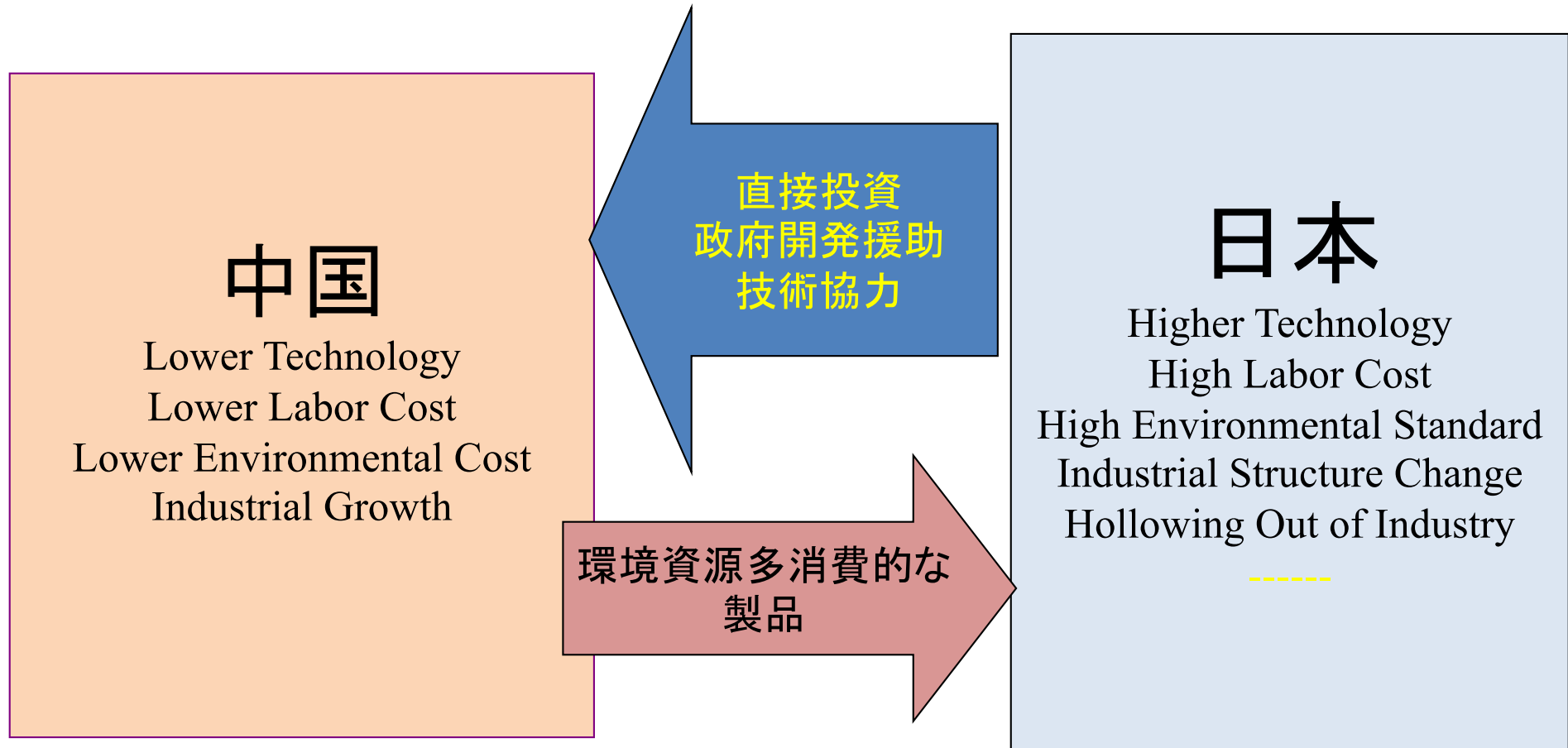
(2) さまざまな問題(産業公害、都市生活型問題、地球環境問題、・・・)の同時進行

# アジア太平洋地域の貿易と環境負荷の相互依存

## 国際産業連関表(アジア経済研究所)による分析



# 日中関係



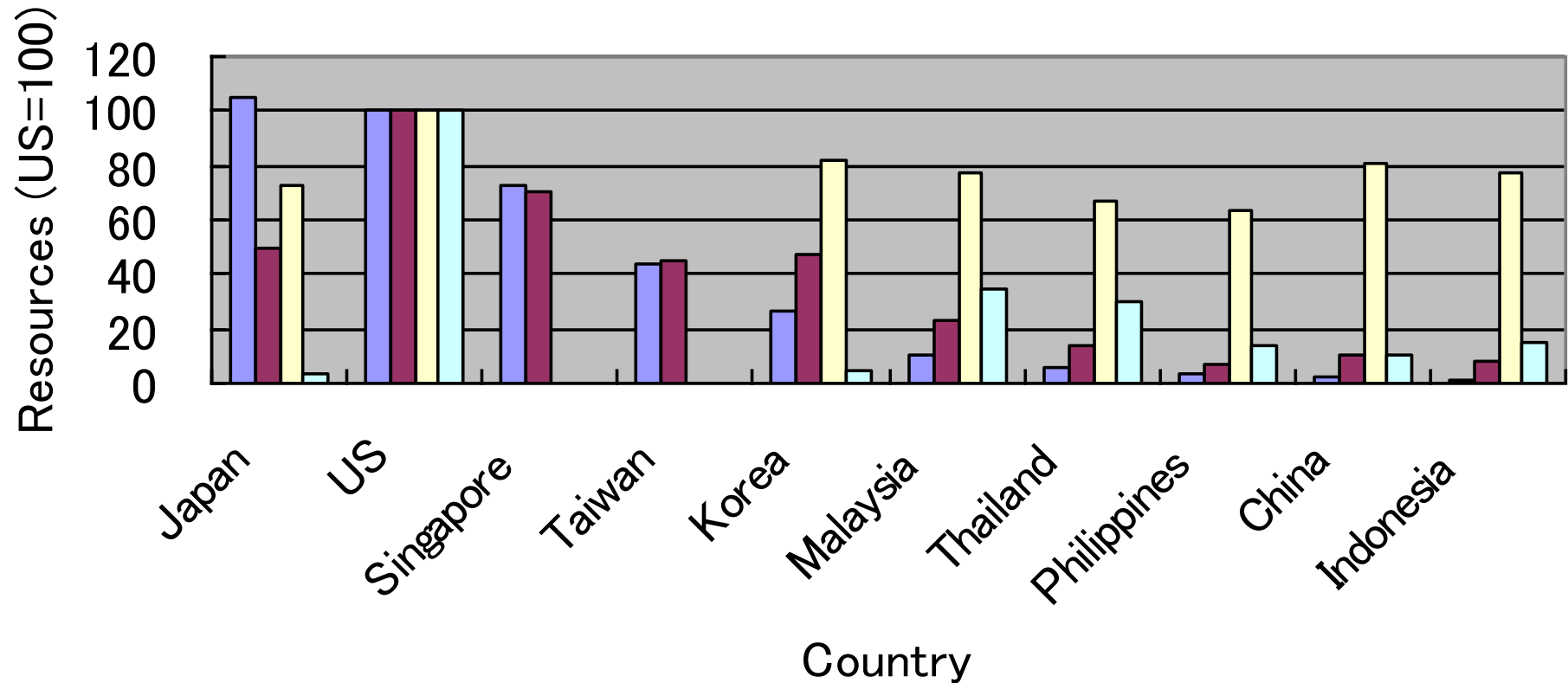
# 環境効率性と衡平性

1999	US	Japan	China
GDP (1995 Billion \$US)	8,582	5,356	964
Population (Million)	278	127	1,254
GDP/Capita	30,845	42,318	769
CO2 (Mt-C)	1,542	320	834
SO2 (Mt)	(16)	(0.7)	18.6
CO2/GDP (ton-C/M \$US)	180	59.7	865
SO2/GDP	1.86	0.13	19.3
CO2/Capita (ton-C)	5.54	2.53	0.665
SO2/Capita (kg)	57.6	5.51	14.8



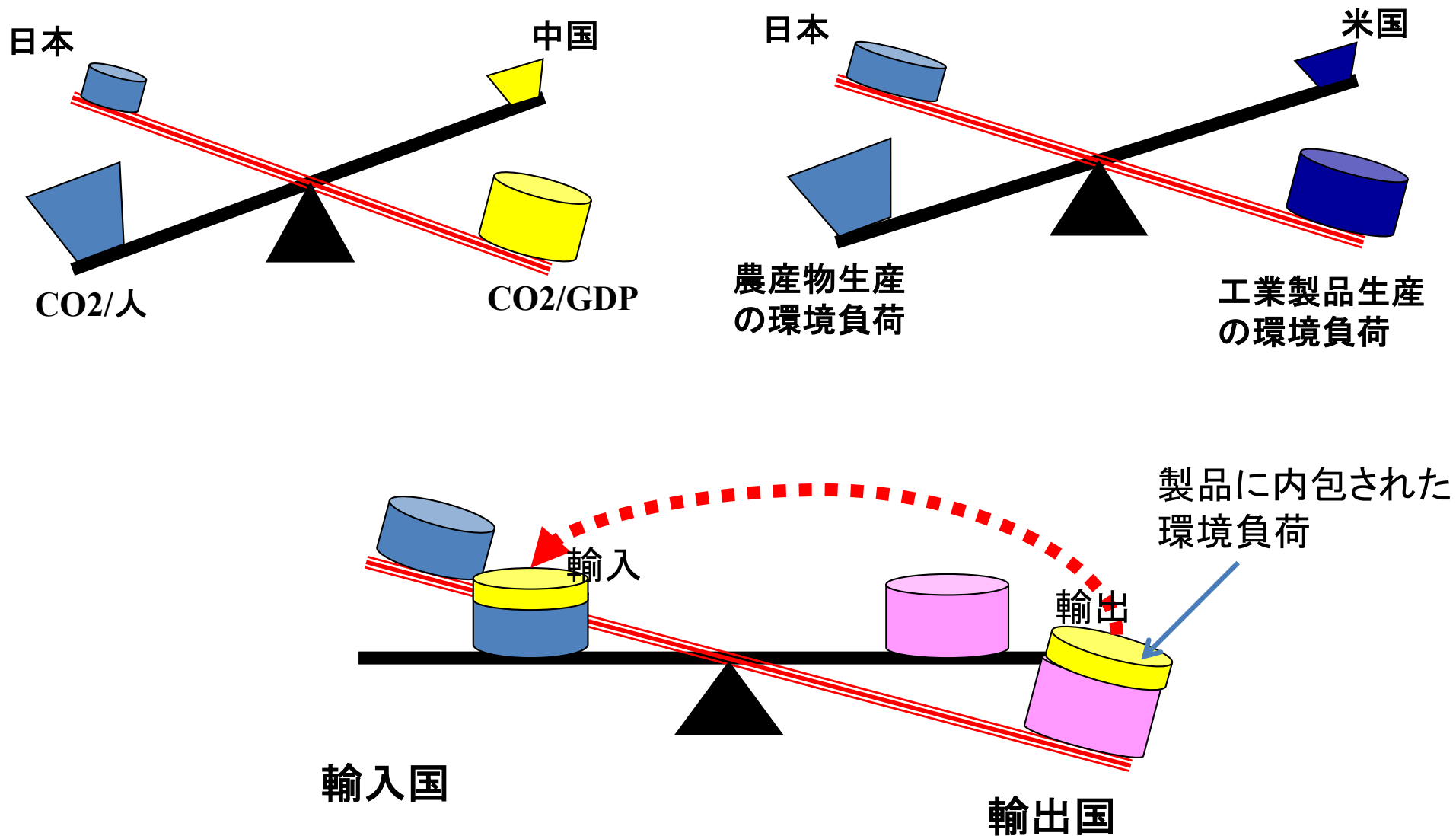
# 環境効率性と衡平性

Resources Available per Capita



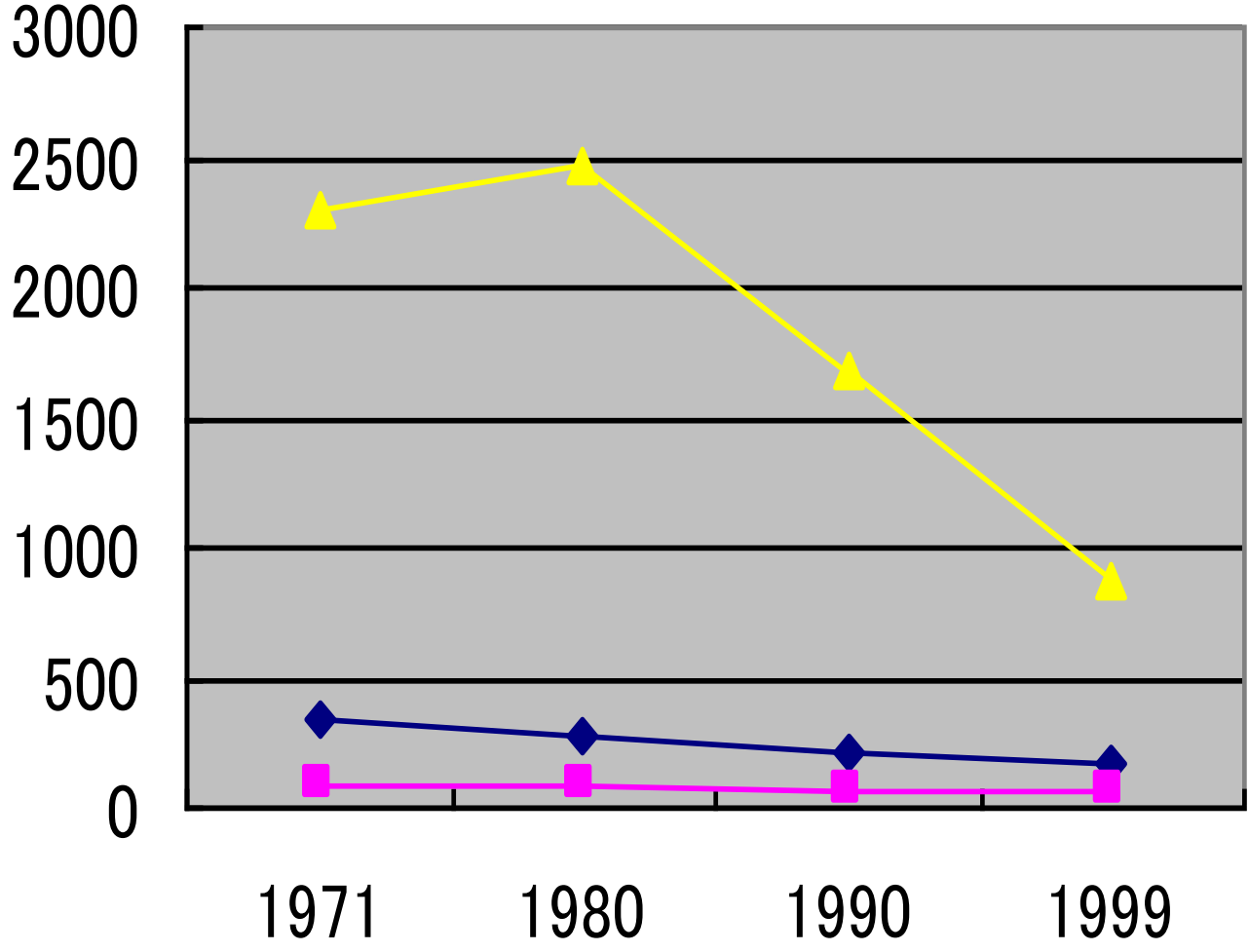
- GDP/capita (2000)
- Energy Consumption (kg-TOE)(1999)
- Calorie Supply (kcal/day)(2000)
- Agricultural Land (1999)

# 効率と衡平性



# CO2/GDP

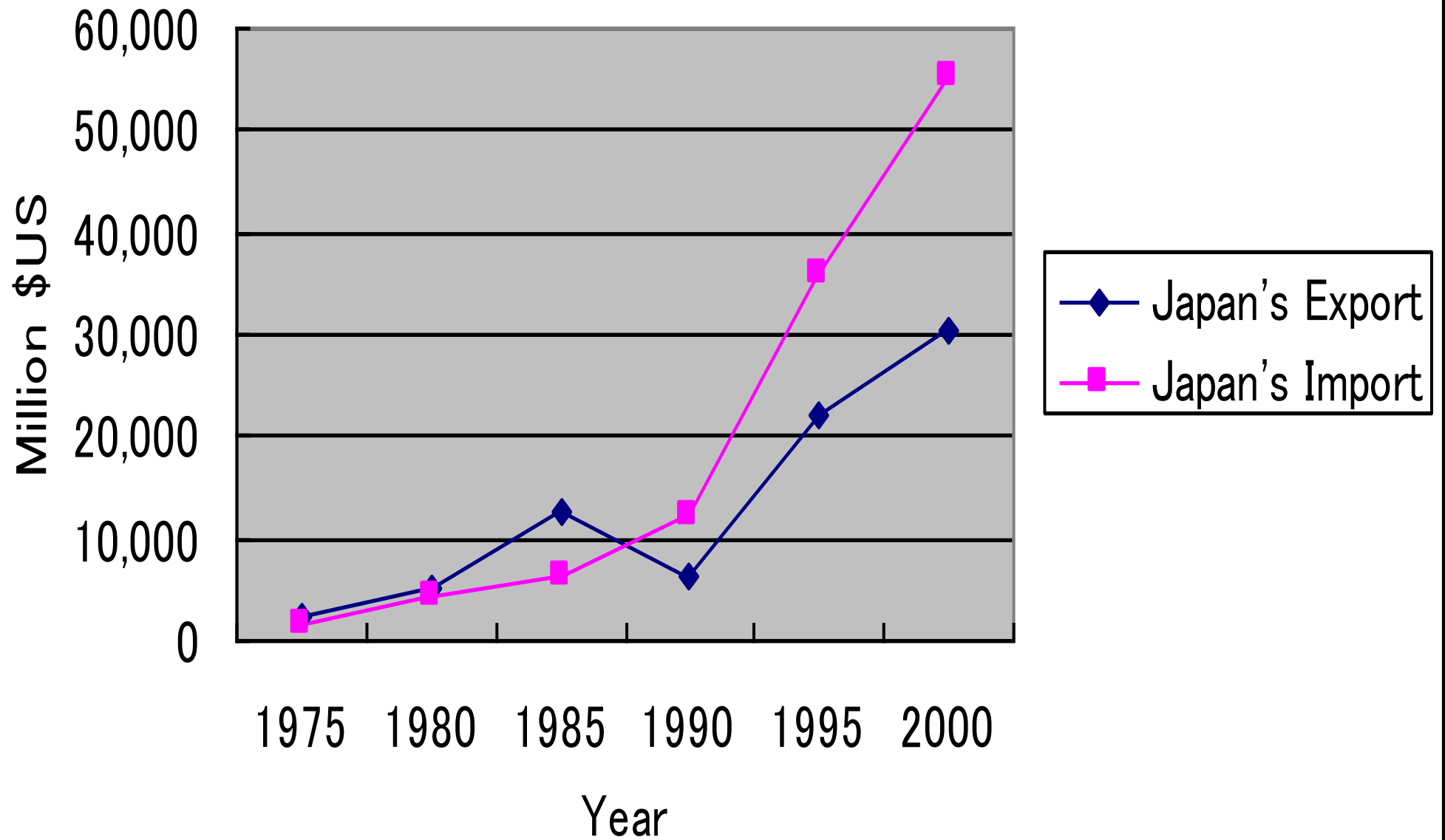
CO2/GDP (ton-C/Million  
\$US (1995 price))



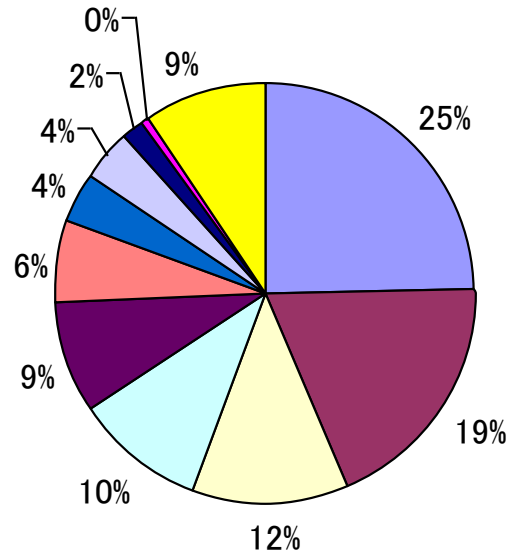
- US
- Japan
- China

Year

# Japan's Trade with China

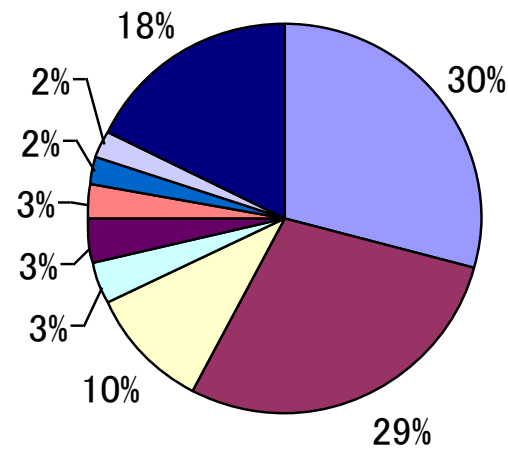


Japan's Export to China



- Electric Appliances
- Machinery
- Chemical Products
- Metal and Its Products
- Textiles
- Iron & Steel
- Transport Machines
- Precision Machies
- Non-Metal Mineral

Japan's Import from China

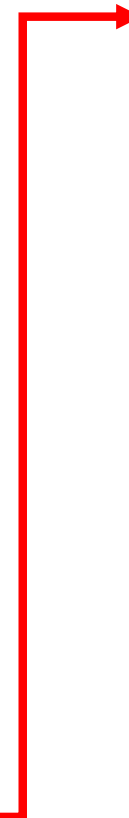


- Textiles
- Machinery
- Foodstuff
- Metal and Its Products
- Mineral Fuels
- Chemical Products
- Raw Materials
- Non-Metal Mineral Products

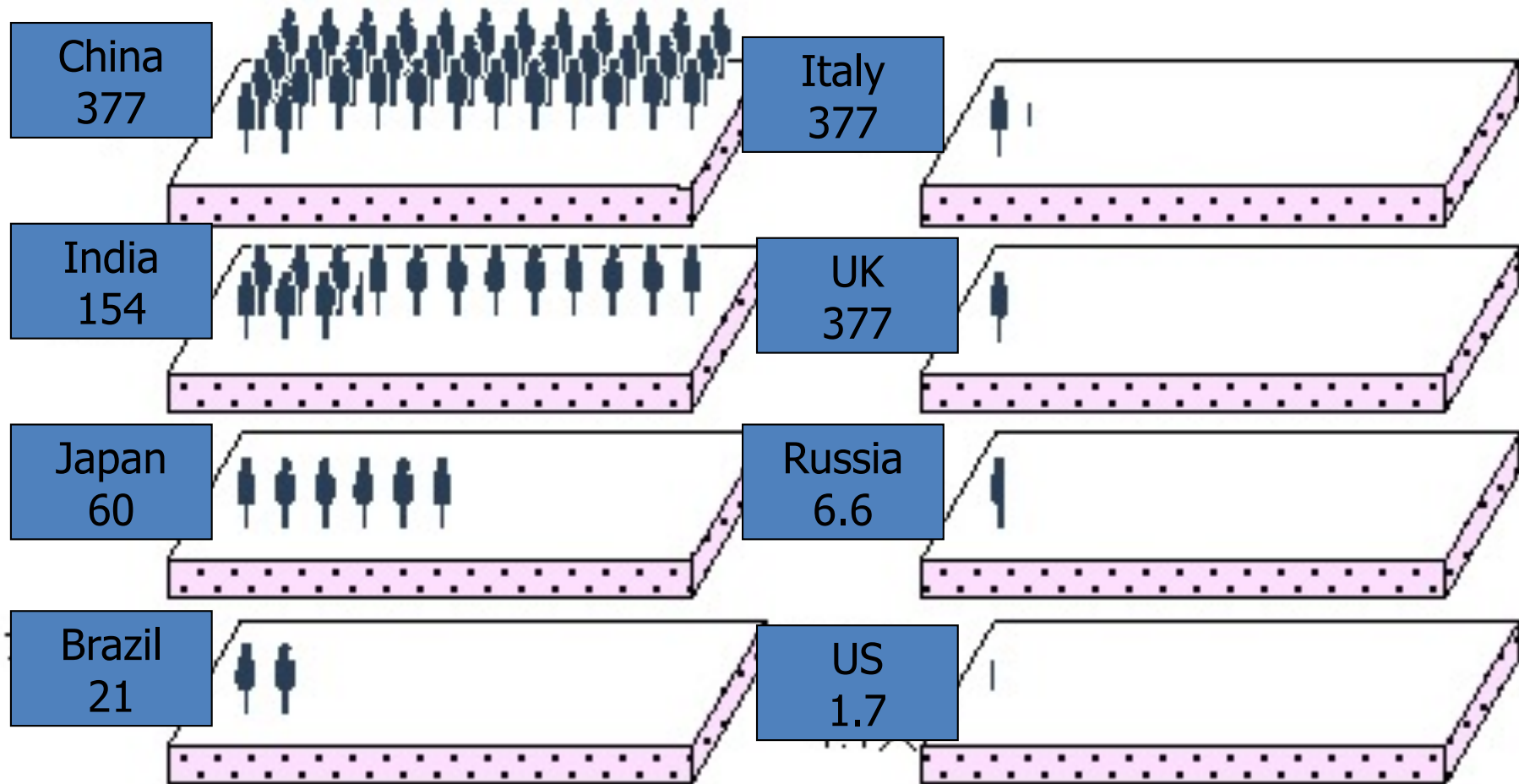
## 日本の食料自給率(1999)

Food Item	%
Grain (Rice and Wheat)	27 (60)
Beans	6
Vegetables	83
Fruits	49
Meat	54
Eggs	96
Milk and Its Products	70
<b>Total Calorie Supply</b>	<b>40</b>

Country	%
Japan	40
US	127
UK	71
Germany	97
France	136
Italy	78



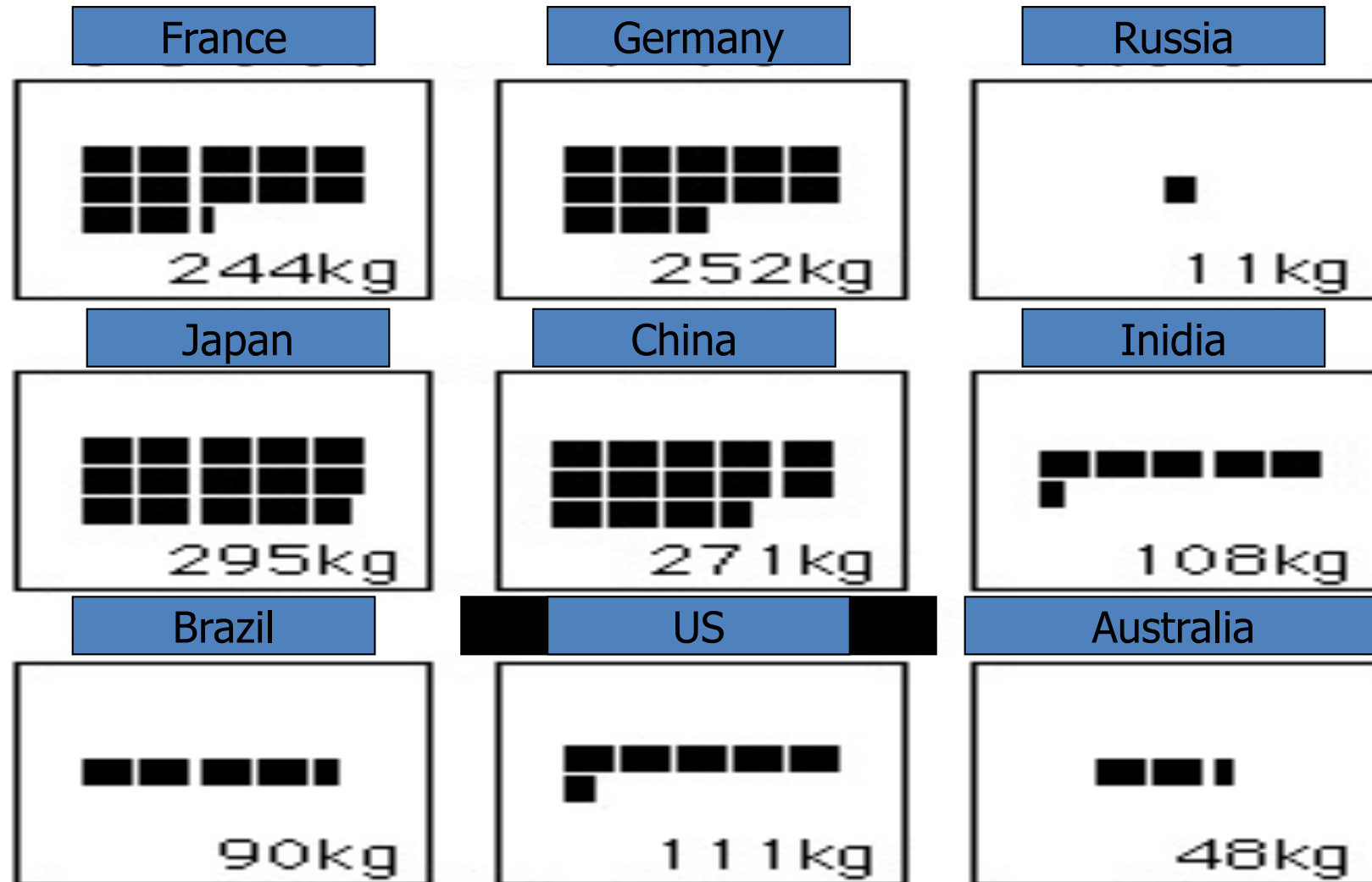
## Number of Labors per 100 ha of Farmland (1999)



Numbers include the people engaged in forestry and fishery.  
Farmland includes orchard land.  
FAO



# Fertilizer Use per 1 ha of Farmland

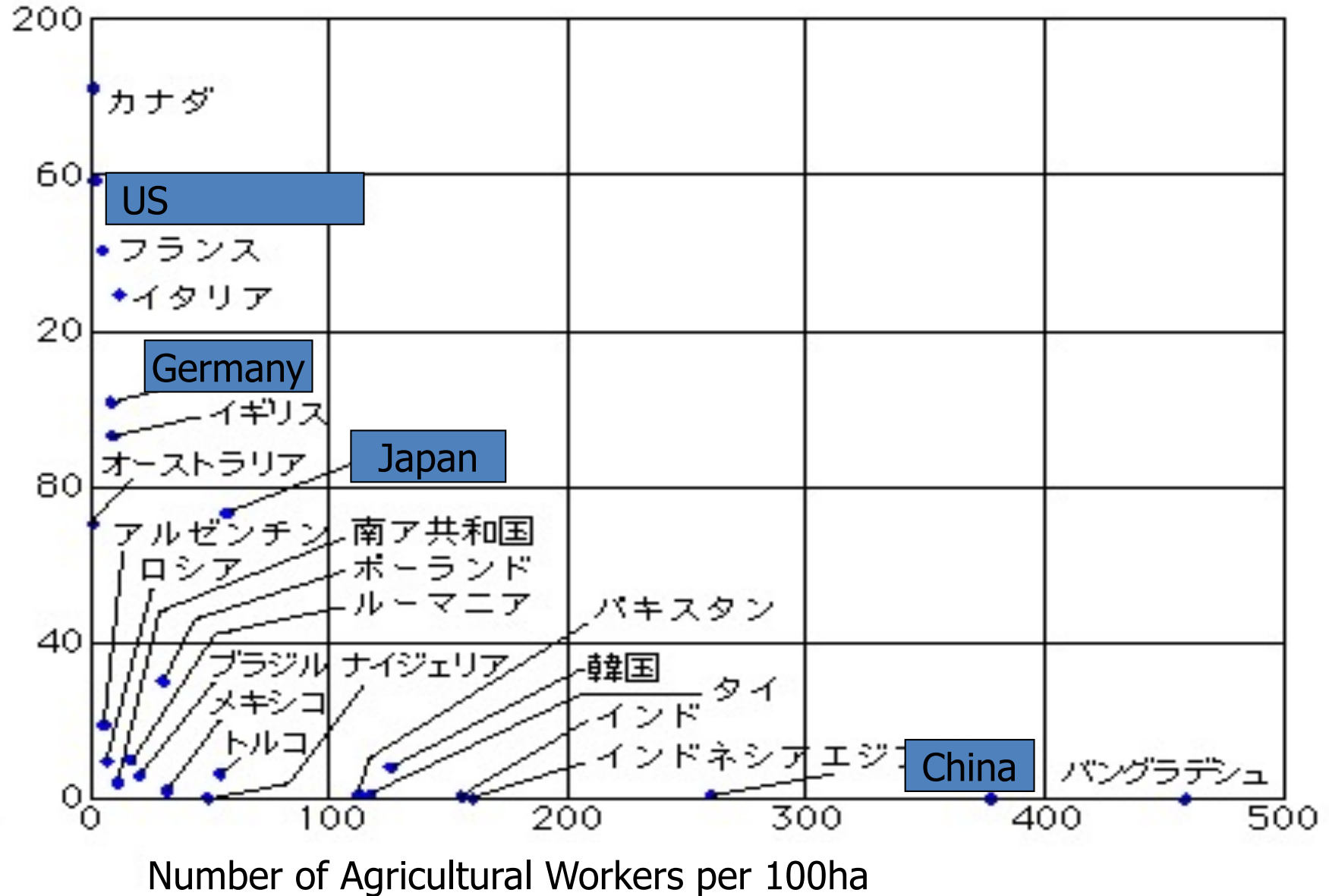


1998/1999

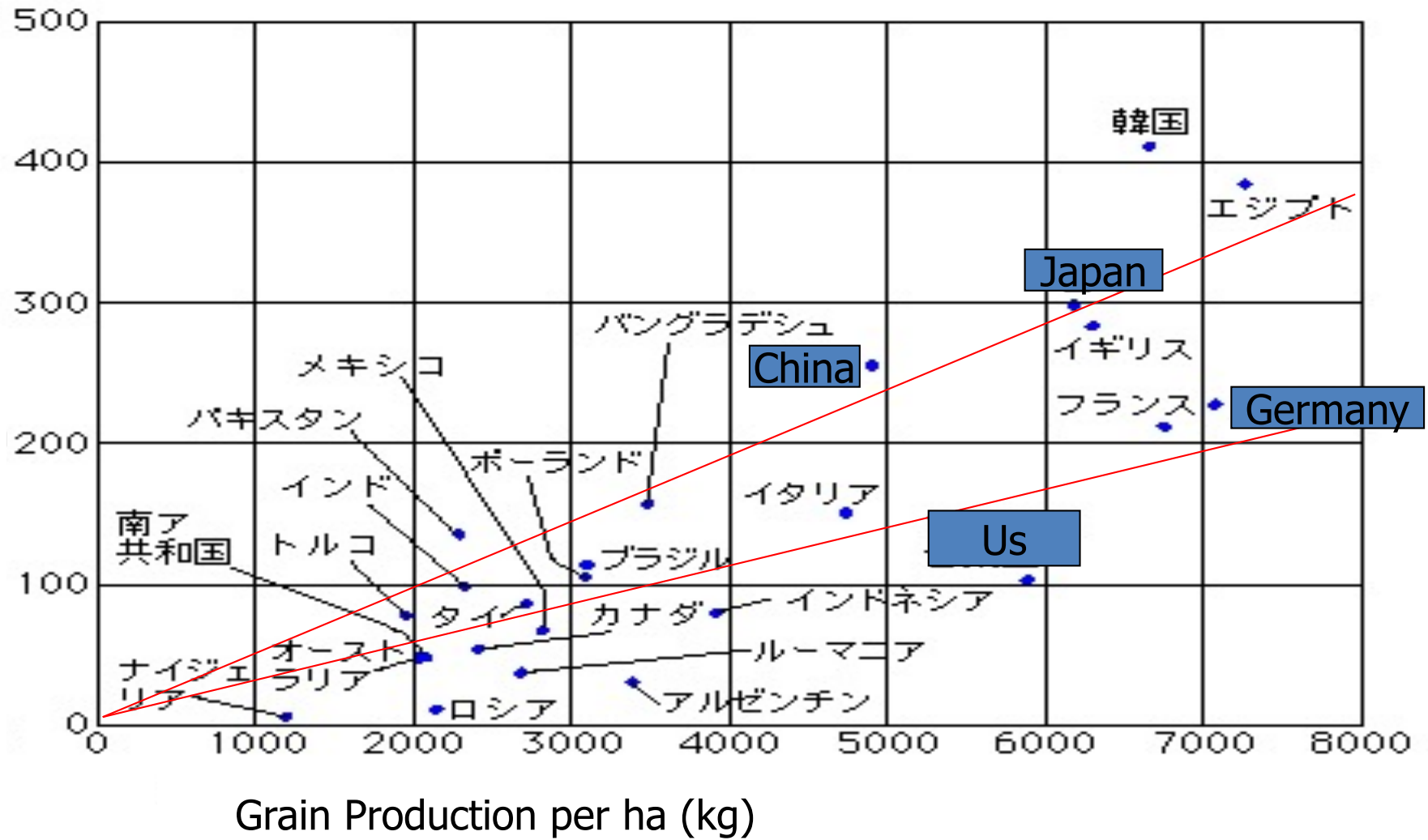
FAO

■ = 20kg

# Number of Tractors per 100 Agricultural Workers

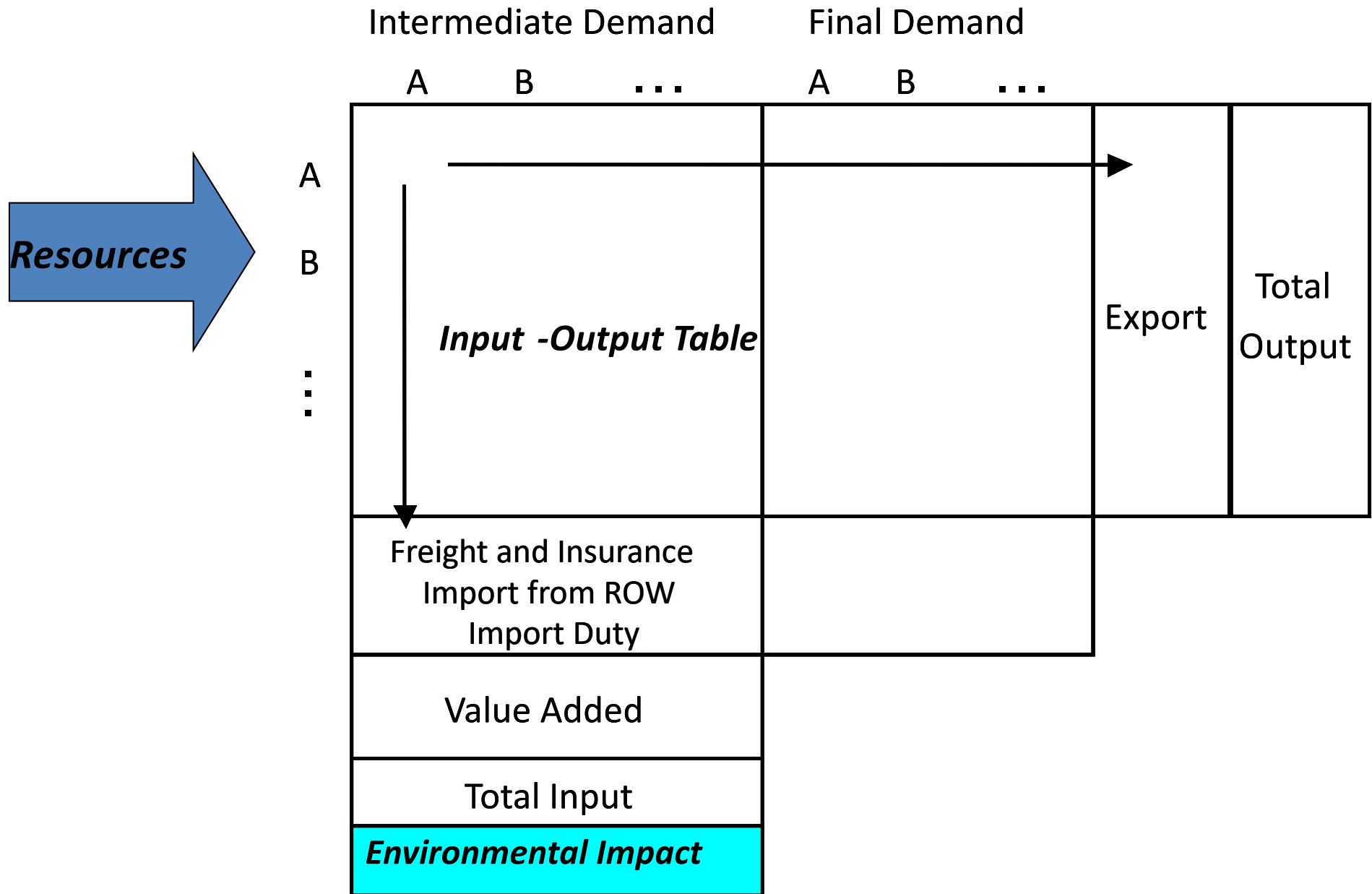


# Fertilizer Consumption per ha (kg)

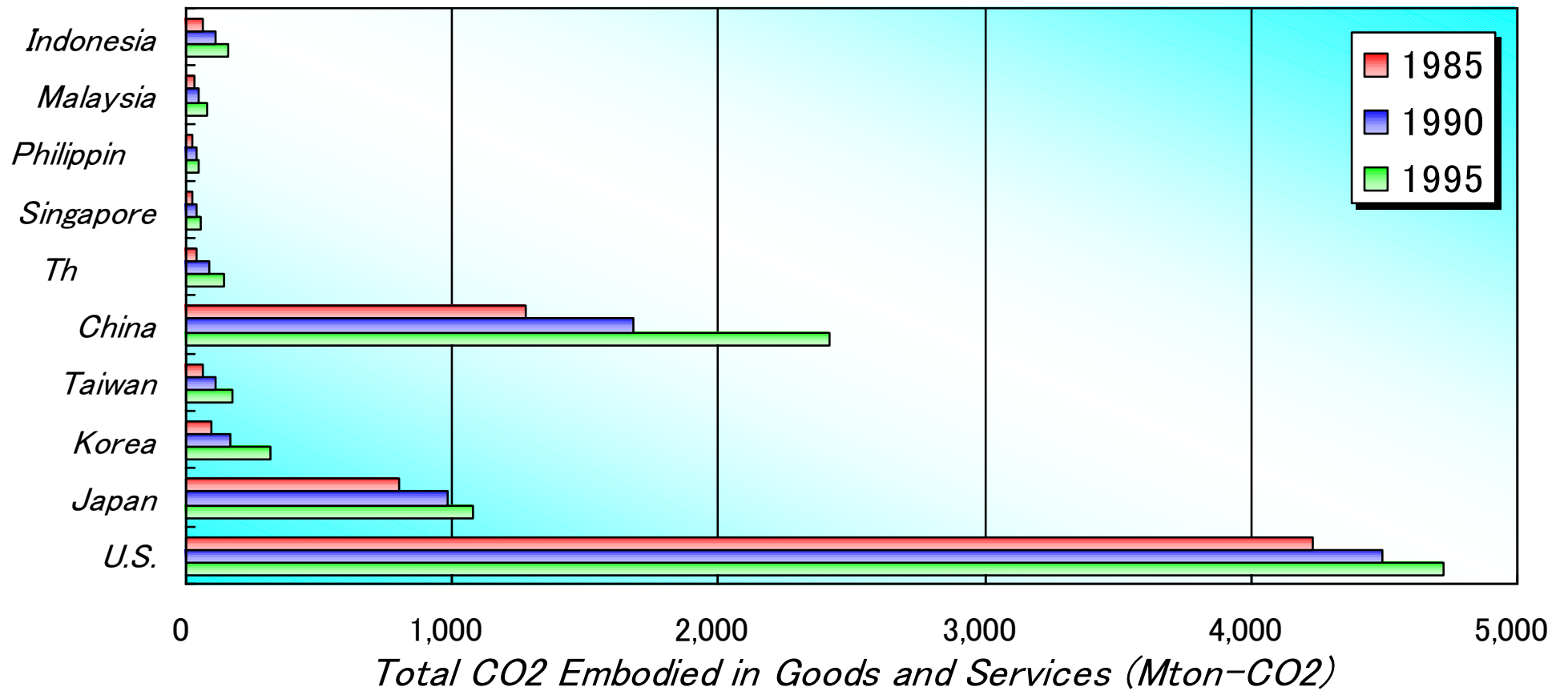


Source: FAO Statistics

# Input-Output Table



# Embodied CO2 in Goods and Services (1985, 1990, 1995) - Ten Asia-Pacific Countries -



# 内包CO2の交易バランス(1995)

## 10 Asia-Pacific Countries

	TO											
FROM		Indonesia	Malaysia	Philippines	Singapore	Thailand	China	Taiwan	Korea	Japan	U.S.	Total
Indonesia			0.5	0.4	1.4	0.5	1.3	1.0	1.9	6.9	5.7	19.6
Malaysia		0.3		0.2	2.5	0.9	1.0	0.9	1.2	3.0	5.0	15.0
Philippines		0.0	0.1		0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	1.2	2.6	5.1
Singapore		0.7	1.1	0.3		1.3	1.3	0.7	0.4	1.4	1.4	8.6
Thailand		0.2	0.5	0.1	1.2		0.7	0.4	0.4	2.8	2.7	9.0
China		4.4	4.5	2.7	6.4	7.6		12.1	22.0	54.2	47.6	161.6
Taiwan		0.8	1.2	0.9	1.2	1.4	2.8		1.2	4.1	6.7	20.3
Korea		1.0	1.0	0.6	1.4	1.1	5.0	1.7		6.2	6.7	24.7
Japan		1.2	2.3	0.6	2.8	3.0	4.8	4.4	4.7		13.1	36.9
U.S.		2.2	3.2	1.7	5.1	3.9	8.7	9.7	12.5	31.6		78.5
Total		10.8	14.4	7.4	22.4	19.8	25.8	31.0	44.7	111.5	91.5	

(Million ton-CO2)

# 農産物貿易にともなう内包エネルギーの交易バランス(1995)

- 10 Asia-Pacific Countries -

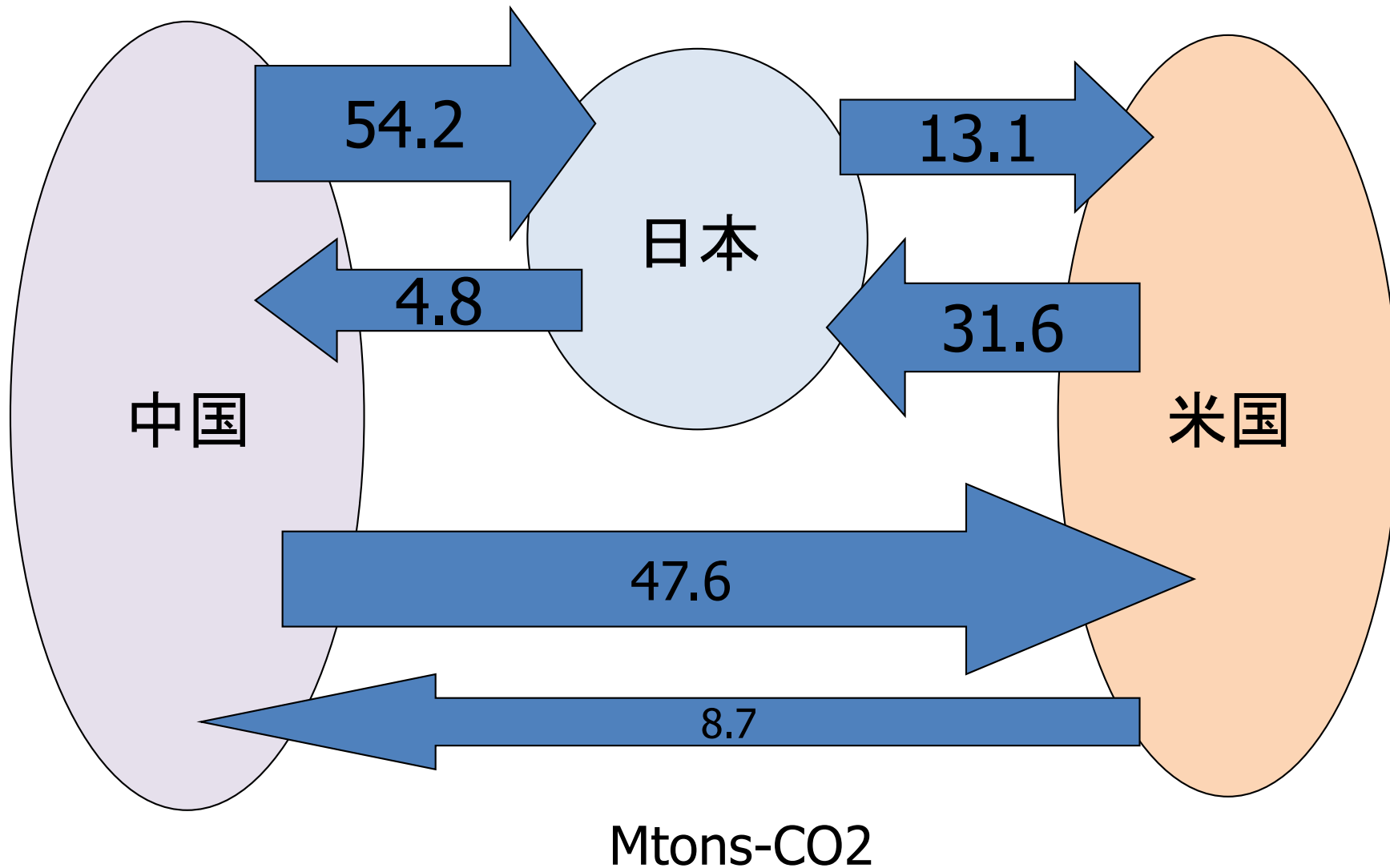
	TO											
FROM		Indonesia	Malaysia	Philippines	Singapore	Thailand	China	Taiwan	Korea	Japan	U.S.	Total
Indonesia			2.8	1.1	3.9	0.9	2.7	1.0	3.0	17.1	6.2	38.7
Malaysia		0.9		3.8	10.3	1.1	8.3	1.0	2.8	7.4	4.2	40.0
Philippines		0.3	1.4		0.5	0.5	1.2	0.5	2.7	12.2	35.7	55.0
Singapore		0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.2
Thailand		2.6	5.9	0.8	6.4		20.1	4.3	10.1	71.1	45.5	166.8
China		9.5	17.5	6.2	21.5	17.7		17.7	91.9	264.8	108.8	555.6
Taiwan		0.7	0.9	1.5	1.2	2.7	2.6		1.7	47.4	5.9	64.6
Korea		1.5	1.0	0.8	1.9	2.5	9.0	2.1		26.0	10.9	55.7
Japan		1.7	2.9	1.2	4.4	4.5	8.8	6.3	7.3		20.1	57.1
U.S.		37.3	12.6	23.9	6.7	23.1	136.9	97.9	109.8	451.8		899.9
Total		54.5	45.1	39.3	56.8	53.0	189.6	130.8	229.4	897.9	237.3	

1000 TOE

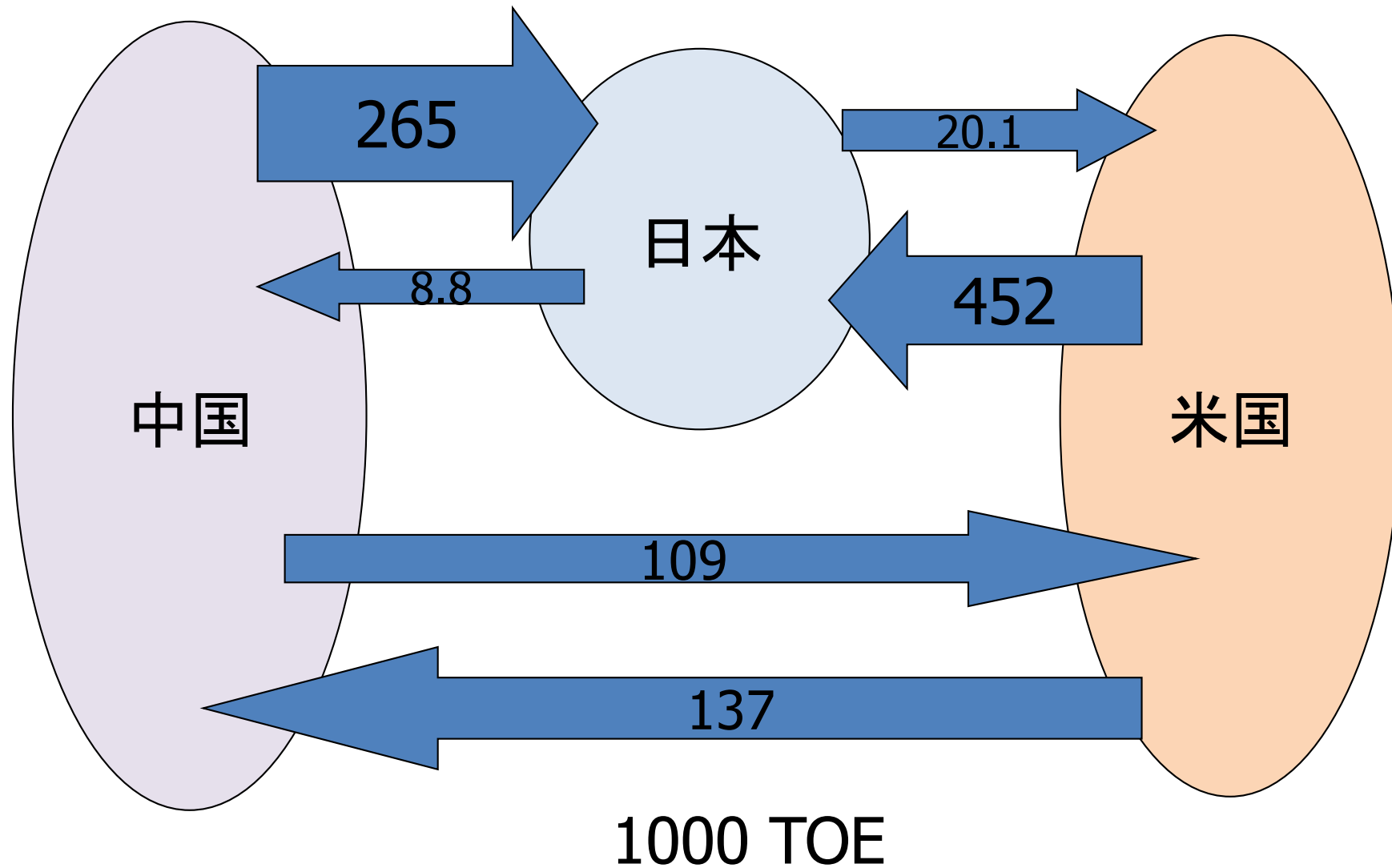


# 内包CO2 交易バランス(1995)

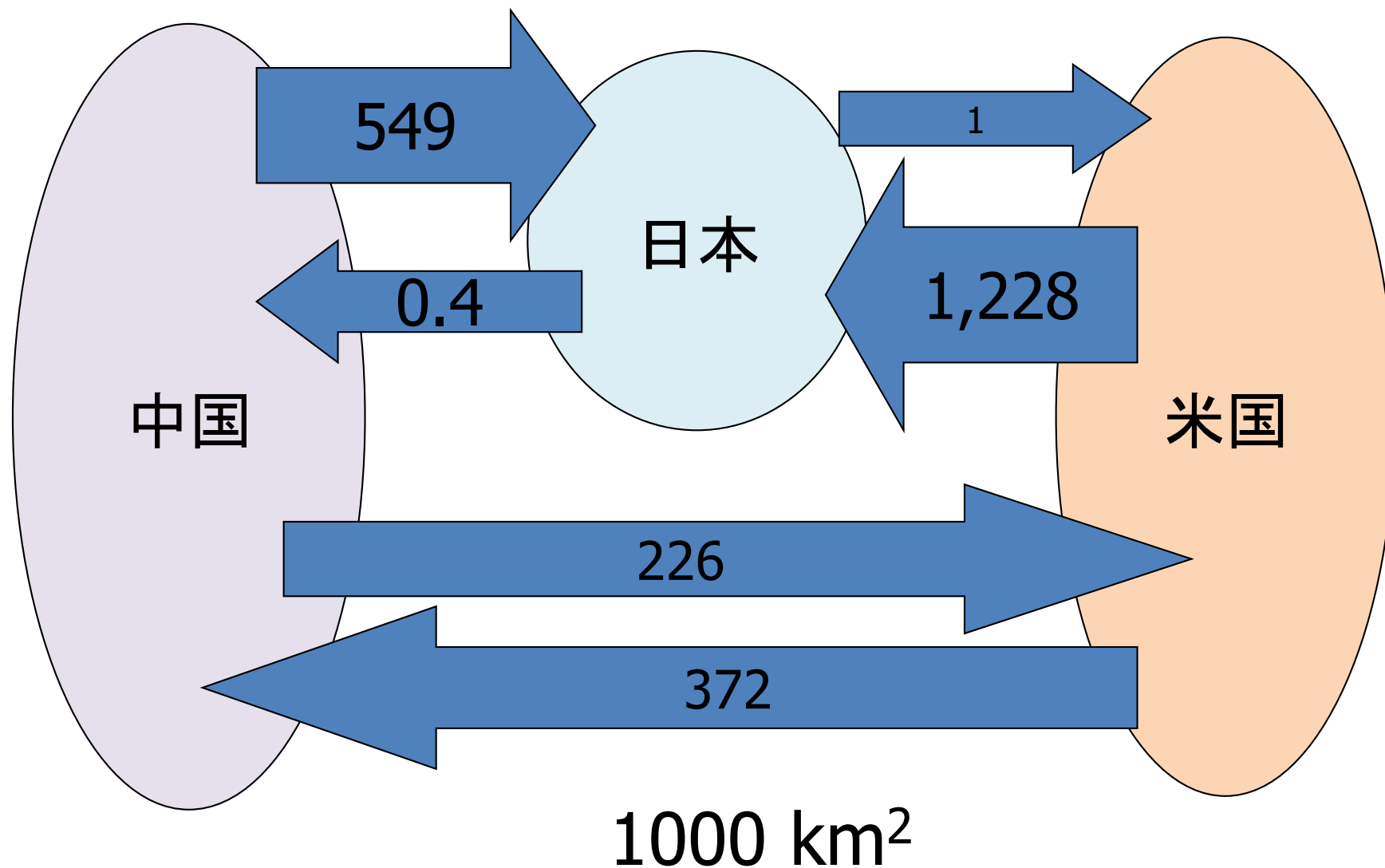
- 日中米 -



# 農産物貿易に伴う内包エネルギーの取引バランス - 日中米 -



# 農産品に内包された土地資源の取引バランス(1995) —日中米—



# 国際貿易にともなう環境負荷の交易バランス

## 1. 国際的相互依存の高まり

- ◆ 財・サービスに内包された環境負荷に着目すべし

## 2. 日中関係

- ◆ 環境負荷の大きな製品の生産を中国が肩代わり
- ◆ 日本国内での見かけ上の環境負荷は減少
- ◆ 日本国内の見かけ上の環境効率性は向上、国間の衡平性をどう考えるか
- ◆ CDMの意味
- ◆ 共通だが差異のある責任

## 3. 経済的効率の追求と環境衡平性

## 4. 技術移転の必要性

## 5. 分析法: 資源・エネルギー分析 (LCA、MFA) との連携

花園口

# 黄河研究

柳園口



黄河下流

蘭州—黄河第一橋



第二堤防外側



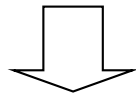
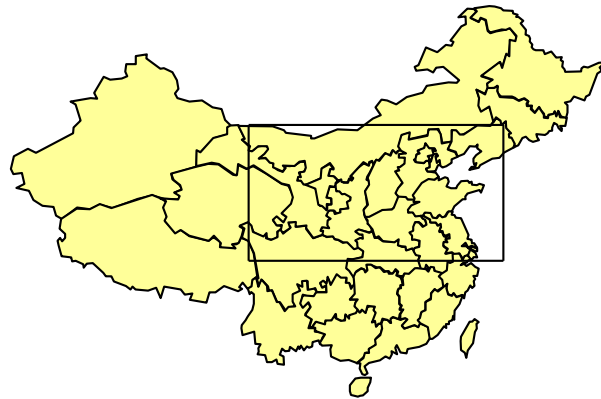
第二堤防內側



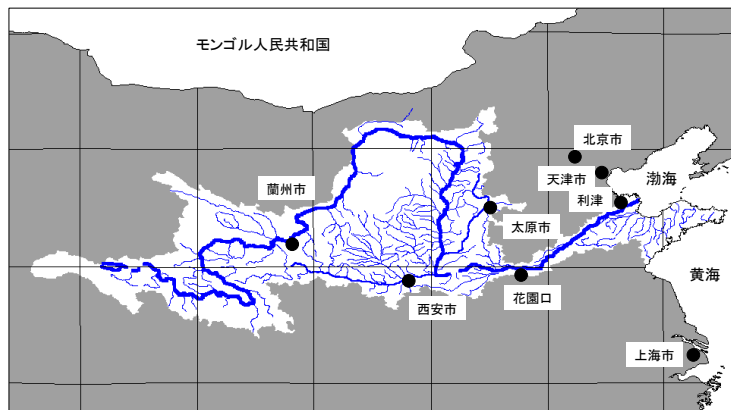
# 黄河流域の水資源需給に関する将来予測と評価

## 1. 水資源と経済生産モデル

中国



黄河・淮河・海河地域



### (1) 経済社会フレーム

- ・マクロ経済モデル
- ・産業連関モデル
- ・CGE(応用一般均衡)モデル
- ①GDP(国、地域別)
- ②工業
  - ・工業生産
  - ・産業構造(水資源集約度)
- ③農業
  - ・農地面積
  - ・食糧需給
- ④都市
  - ・都市化面積
  - ・都市人口
  - ・所得

### (2) 水資源需要モジュール

- 工業用水
  - =f(生産額、設備投資、水価格、...)
- 農業用水
  - =f(反収、機械化率、作物、気象、...)
- 生活用水
  - =f(所得、料金、生活スタイル、住宅、...)

### (3) 水資源供給モジュール

- ①水利の改善(ダム等)
- ②導水(「南水北調」等)
- ③気象・気候モデル(水資源賦存量、蒸発散量、GCMとの結合等)

## 3. 流域統合モデル

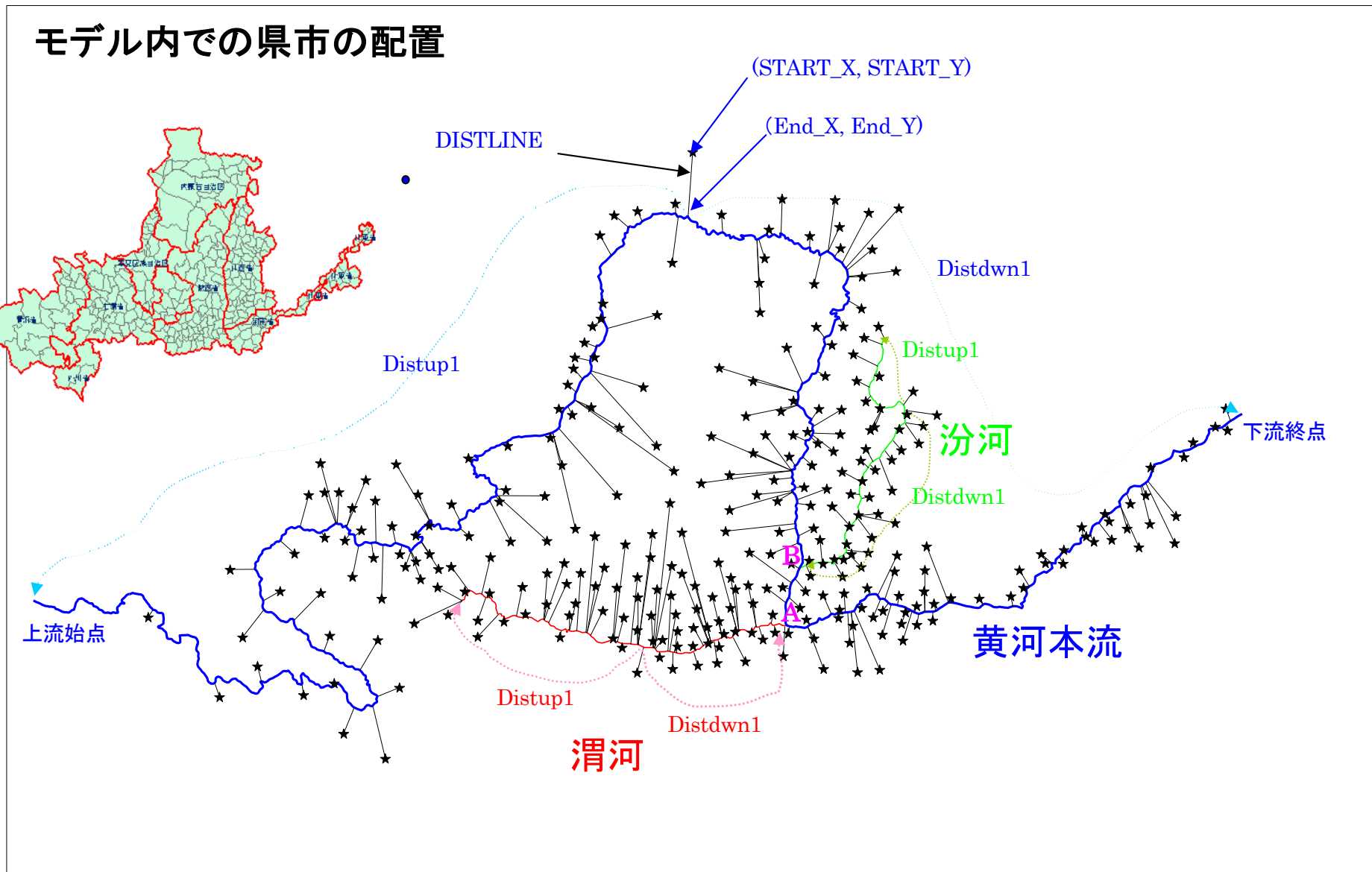
水資源需給将来シナリオ

- ①高度経済成長、工業化拡大、都市化
  - ②安定経済成長
  - ③環境配慮型
- 需給均衡・ギャップ分析
- ①需給緊迫化の場合
  - ②需給緩和の場合
  - ③セクター間の問題(工業、農業、都市)
  - ④地域間の問題(都市と農村、上流と下流)
- 環境インパクト・費用対効果
- ①工場...汚染、地盤沈下
  - ②都市排水...汚染、飲料水質低下
  - ③農業...汚水灌漑のリスク、食糧不足
  - ④自然生態系の改変

## 2. 食糧生産モデル

- ①反収=F(灌漑水量、農業機械、肥料、気象、農法、その他)
- ②土地利用・農地面積
- ③農産物価格
- ④食糧需給将来予測

# 水資源カスケードの設定



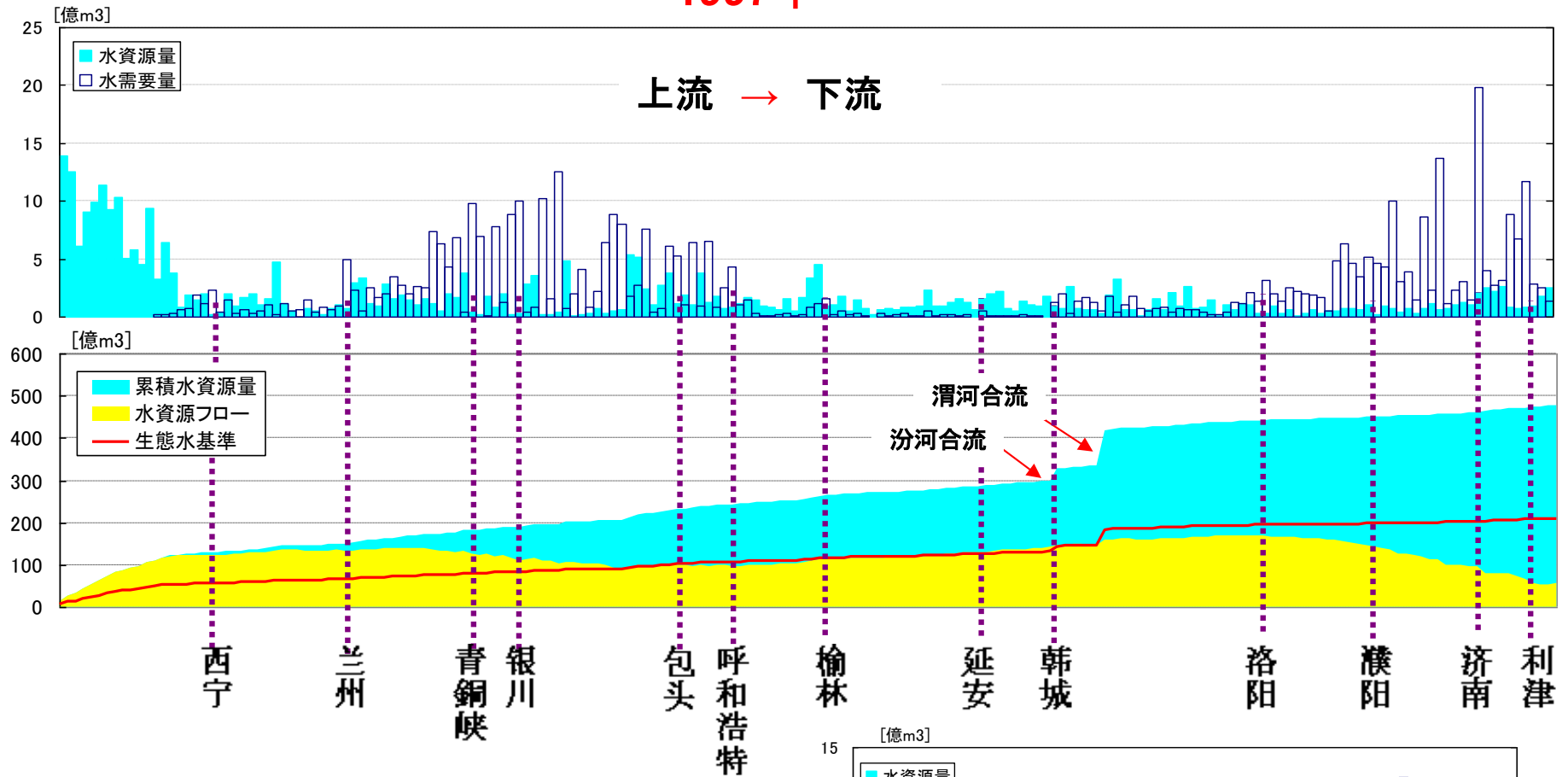
305県市を、黄河干流、汾河支流、渭河流域の3つに分けそれぞれ上流から下流に配置



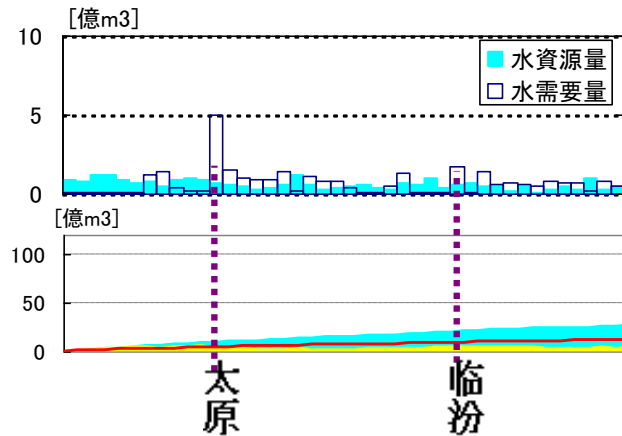
# 1997年 各県市の水資源量と需水量比較 と上流からの累積水資源と水資源流量

1997年

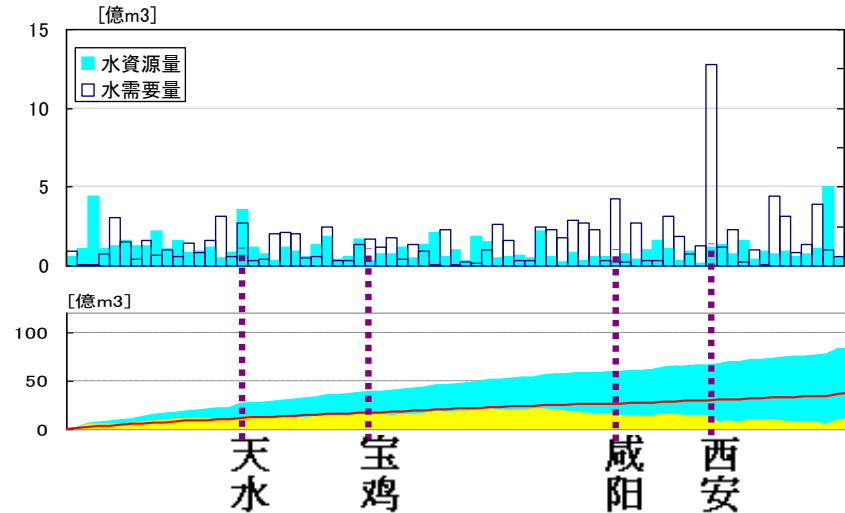
黄河干流



汾河



渭河



# 中国を題材とした臨床環境学 (例)

## — 水資源管理 —

### 診断的側面

- 水資源制約
- 洪水、治水

- 湖沼・河川の汚染 (富栄養価)
- 現象解明
- 対策効果のシミュレーション

- 農業生産


### 治療的側面

- 導水 (南水北調)、ダム (洪水調節、発電)
- 水資源配分、水価格、水権取引

- 下水道整備の効果
- 分散型処理技術 (合併浄化槽等)、コミュニティプラントの効果
- 財源調達問題

- 残留農薬規制、POPs規制
- 貿易問題

- 研究者と政策担当者が集まる国際シンポ、セミナーの開催
- 問題を総合的にレビューする報告書のとりまとめ
- 教育プログラム、教材開発
- 日中政府間協力プログラムへの参画、貢献

- 
- 2008年北京オリンピック  
•2010年上海万博

Beijing

Seoul

Tokyo

Shanghai

### 地球温暖化対策

- 都市セクターの急速な伸び
- 取組みにおける役割
- 共通の課題

### アジアの都市化

- 急速な都市化
- 都市化のポテンシャル
- 都市人口の規模
- 巨大都市(メガシティ)

# 中国を題材とした臨床環境学 — 地球温暖化問題 —

## 診断的側面

- 経済活動、エネルギー消費、温室効果ガス排出量の関係
- 中国における地球温暖化の兆候とその影響
- 中国等の新興国における低炭素社会の実現とは
- 世界経済と中国(輸出型経済、内需型経済)

## 治療的側面

- 科学的研究成果が意味するものは何か、そこからの政策的メッセージ
- 中国のエネルギー需給に関する将来予測、シミュレーション、シナリオ分析等による対策案の提示
- 中国産業における省エネルギー技術の導入可能性
- 低炭素型都市づくり(交通、インフラ、建築物)
- 国土利用
- 基礎資材需要(鉄、セメント等)
- CDMプロジェクト
- 国際的、国内的な排出量(枠)取引のスキーム
- 自然エネルギー利用の可能性

- 研究者と政策担当者が集まる国際シンポ、セミナーの開催
- 問題を総合的にレビューする報告書のとりまとめ
- 教育プログラム、教材開発
- 日中政府間協力プログラムへの参画、貢献

# アジア低炭素社会 & 循環型社会

資源消費の観点からみて、アジア主要国で先進国とは異なる発展経路は可能か？  
 (「循環経済」は可能か？)

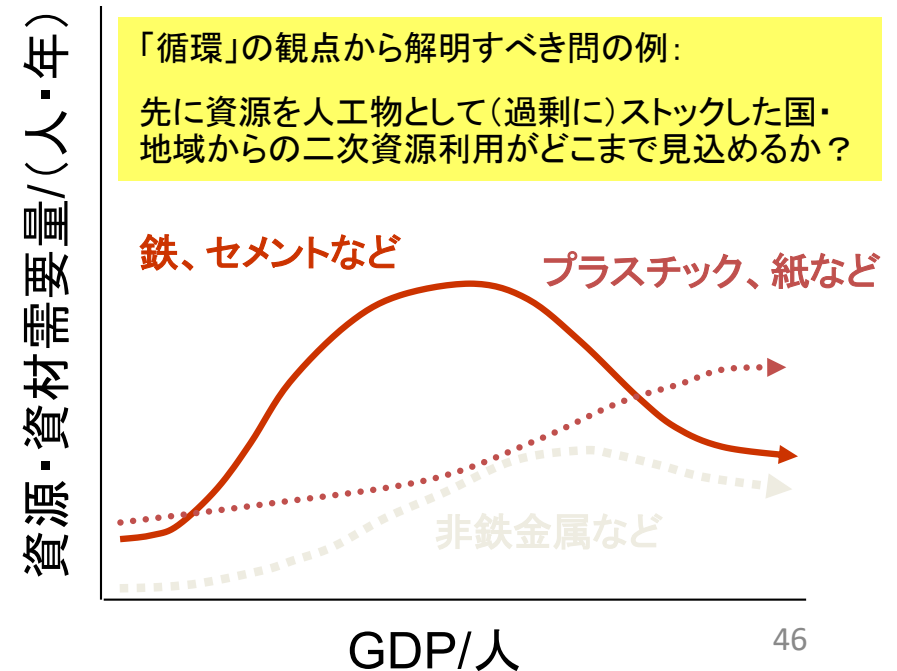
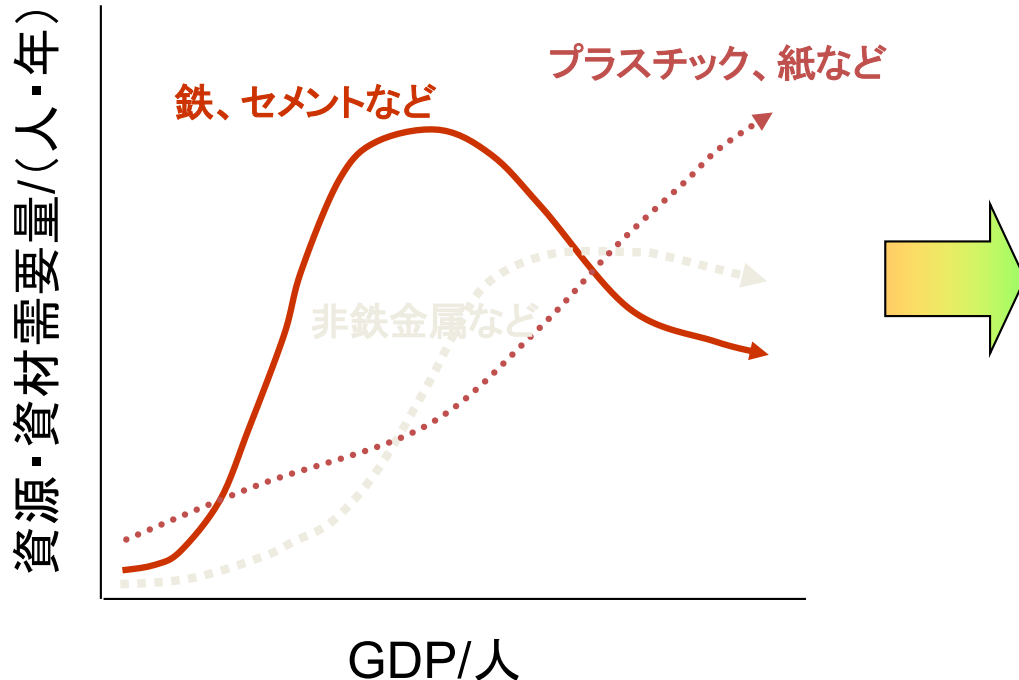
$$\frac{\text{CO}_2\text{排出量}}{\text{GDP}} = \frac{\text{資源消費量}}{\text{GDP}} \times \frac{\text{エネルギー消費量}}{\text{資源消費量}} \times \frac{\text{CO}_2\text{排出量}}{\text{エネルギー消費量}}$$

## 従来の資源大量消費型の発展

**インフラ建設** (住宅、交通基盤、生産設備など)  
**耐久消費財所有** (自動車、家電など)  
**消費財大量消費** (短寿命の日用品)

## 低資源消費・低炭素型の発展

**インフラ建設** (コンパクトシティ、資材リサイクル)  
**耐久消費財利用** (リユース、リース、レンタル)  
**消費財適量消費** (リデュース、リサイクル)







# 名古屋大学国際環境人材育成 プログラム

## 目的

アジア・アフリカにおける地球環境問題に  
対して具体的な問題解決方を提案・実施  
できる次世代の環境リーダーを育成する



## 対象学生

環境学研究科都市環境学専攻  
工学研究科社会基盤工学専攻博士課程前期課程  
(留学生10名程度、日本人5名程度)



## 対象分野

地球温暖化対策  
水・廃棄物対策  
生物多様性保全

未完成にて終了  
謝謝清聴

盛年不重来  
一日難再晨  
及時當勉勵  
歲月不待人

陶淵明