

# 持続可能な社会のための 地下水研究

総合地球環境学研究所・副所長  
公益社団法人・日本地下水学会・会長  
国際水文地質学会(IAH)副会長

谷口真人

## • 地下水研究の最前線

1)衛星による地下水研究、2)地下温暖化、3)海への地下水流出

## • 地下水問題の様々な視点

1) 水の公共性、3)レジリエンス

## • 水・エネルギー・食料ネクサスと安全保障

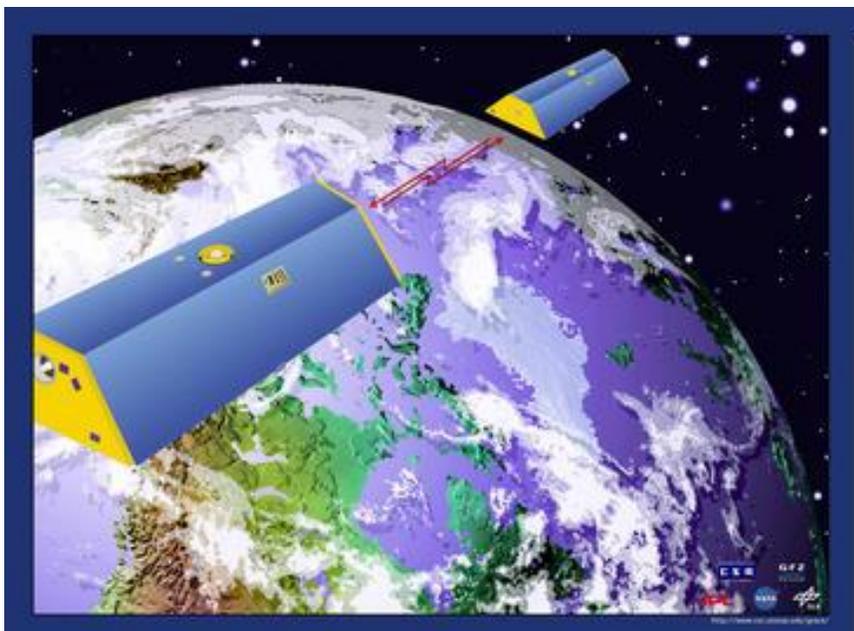
1)貿易と安全保障、2)気候変動の影響、3)ネクサスモデル

## • 持続可能な社会のための地下水研究

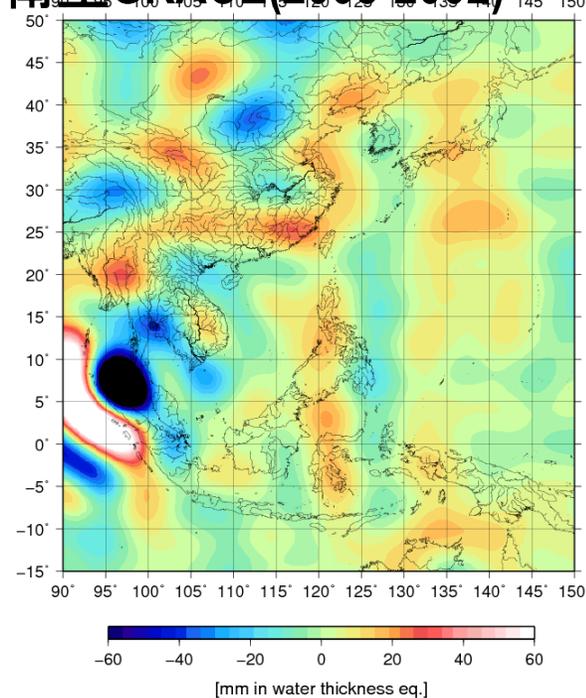
1) システムとしての知、2)目標を定める知(SDGs)、3)社会との共創知

# 地下水研究の最前線(1):

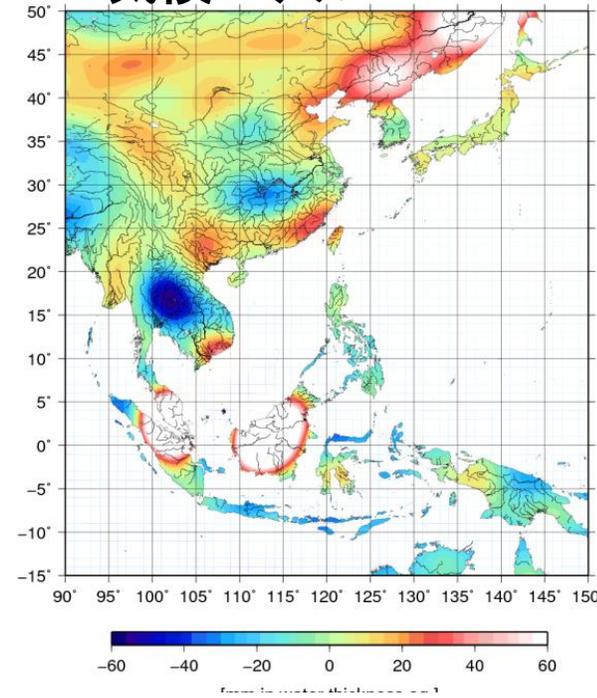
# 衛星GRACEによる地下水貯留量変化の検出



衛星GRACE(2008-2002)

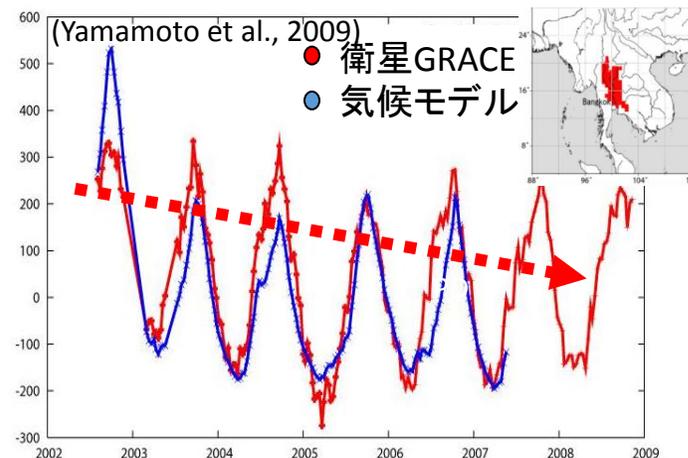


気候モデル



衛星GRACE 打ち上げ  
(2002年3月)(高度  
450km, 距離:250km)

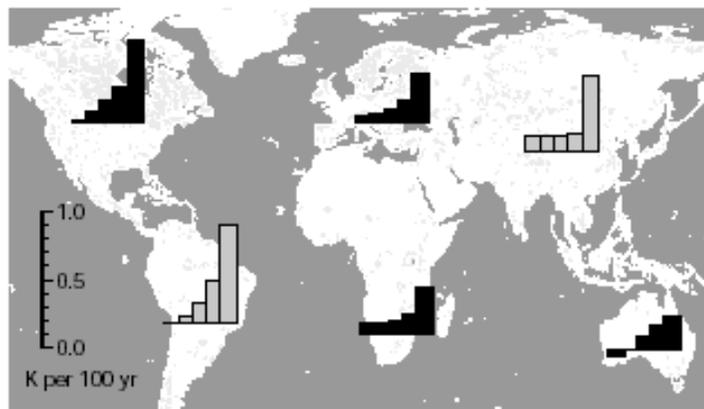
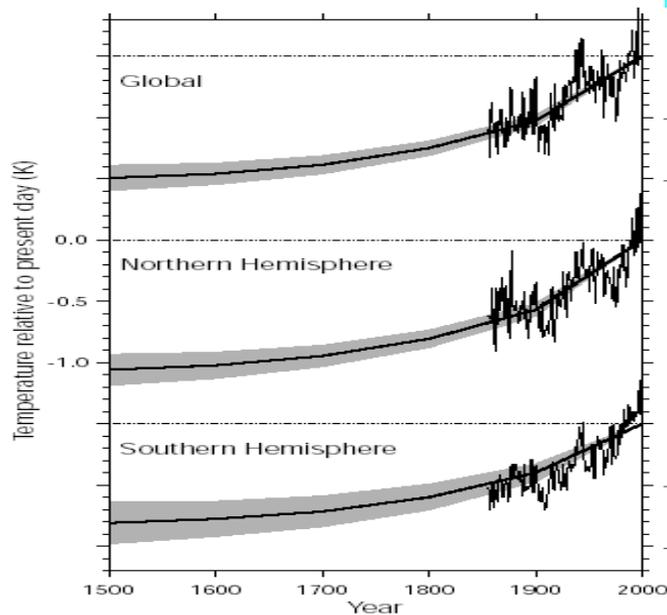
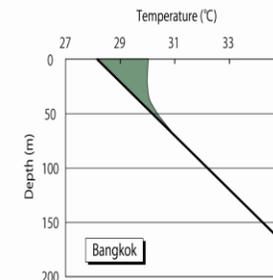
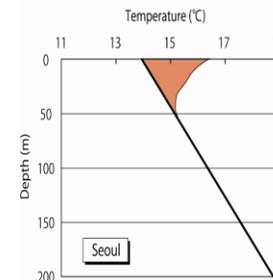
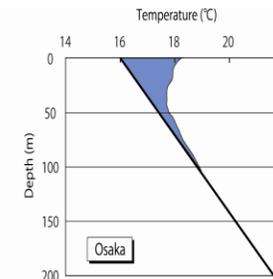
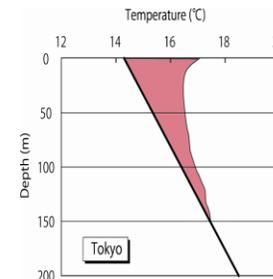
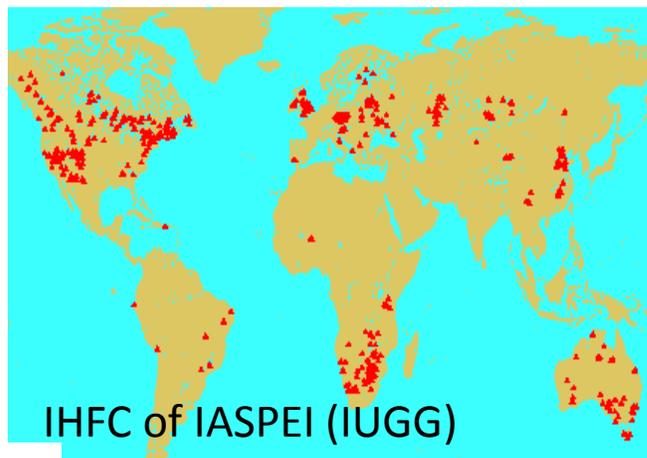
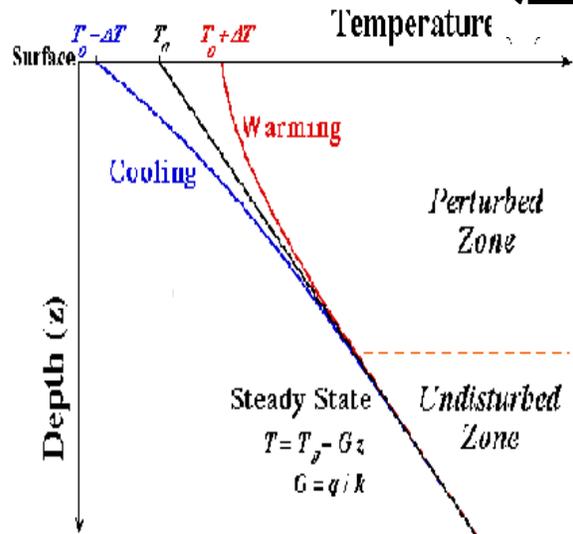
距離測定の精度:  
250km離れた2点間で、髪の毛  
の10分の1の差がわかる!



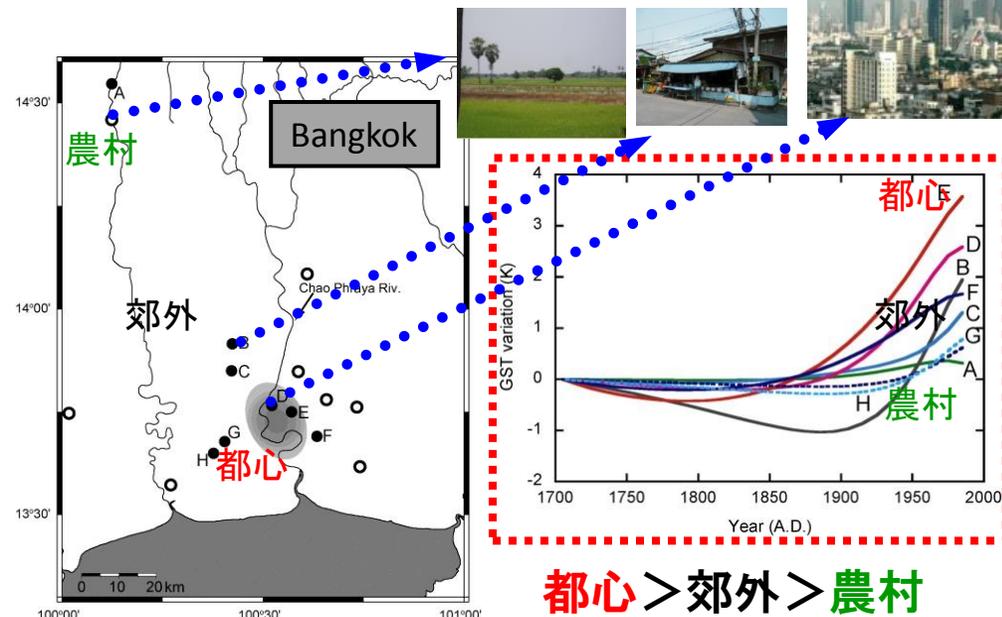
チャオブラヤ流域の陸水貯留量変化

# 地下水研究の最前線2: 地下温暖化

## 温暖化と都市化による“地下温暖化”



(Shaopeng Hung, 2000)

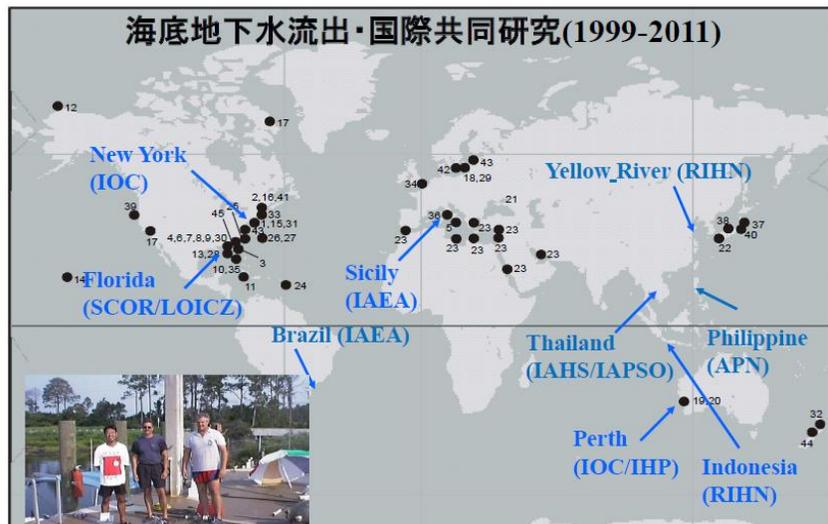


都心 > 郊外 > 農村

Taniguchi et al. 2009

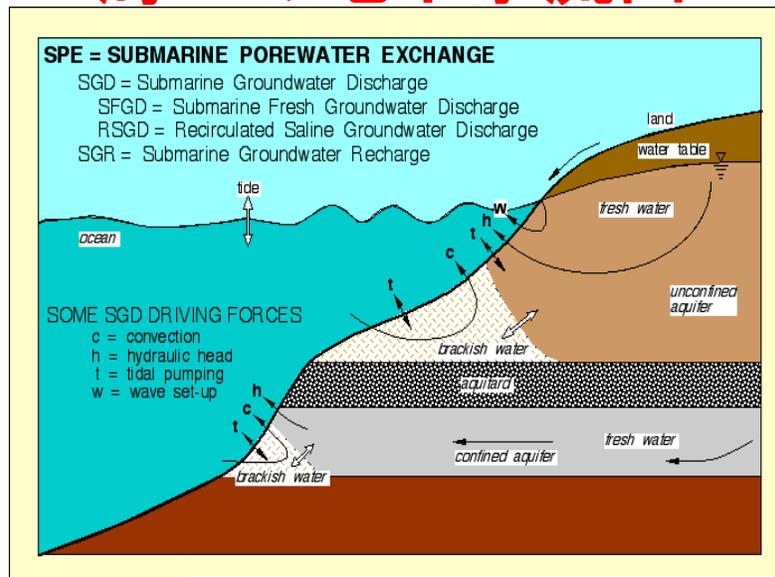
# 地下水研究の最前線3

## 海への地下水流出



(Taniguchi et al., 2002)

Intercalibration at Florida (1999)

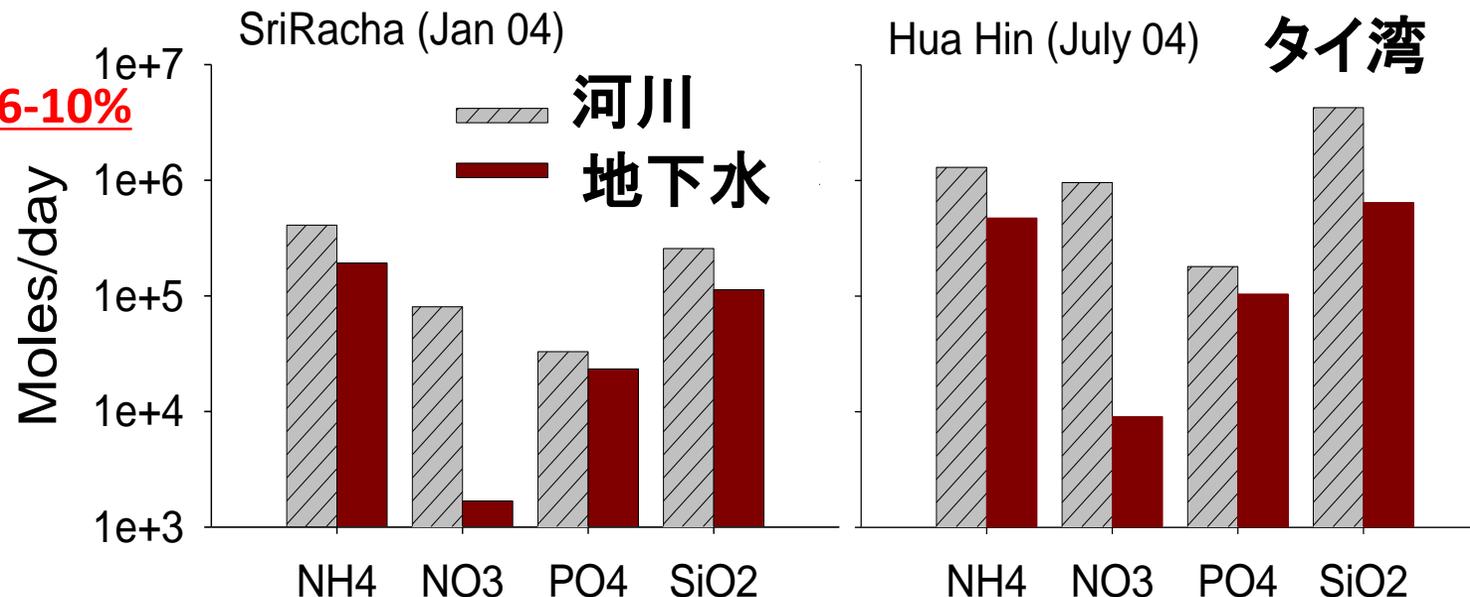


海底湧水(SGD) = 淡水(SFGD) + 再循環海水(RSGD)



### 陸から海への水流出に占める地下水の割合: 6-10%

Authors	Role of SGD
Berner and Berner [1987]	6 % of the total water flux
Church [1996]	0.01–10 % of Surface R.
COSODII [1987]	0.3 % of Surface Runoff
Garrels and MacKenzie [1971]	10 % of Surface Runoff
Evovtch [1974]	31 % of the total water flux
Nace [1970]	1 % of Surface Runoff
Zektser et al. [1973]	10 % of Surface Runoff
Zektser and Loaiciga [1993]	6 % of the Total water flux



陸から海への栄養塩流出における海底地下水の重要性 Burnett et al. 2007

## • 地下水研究の最前線

1)衛星による地下水研究、2)地下温暖化、3)海への地下水流出

## • 地下水問題の様々な視点

1)水の公共性、3)レジリエンス

## • 水・エネルギー・食料ネクサスと安全保障

1)貿易と安全保障、2)気候変動の影響、3)ネクサスシナリオ・モデル

## • 持続可能な社会のための地下水研究

1)システムとしての知、2)目標を定める知(SDGs)、3)社会との共創知

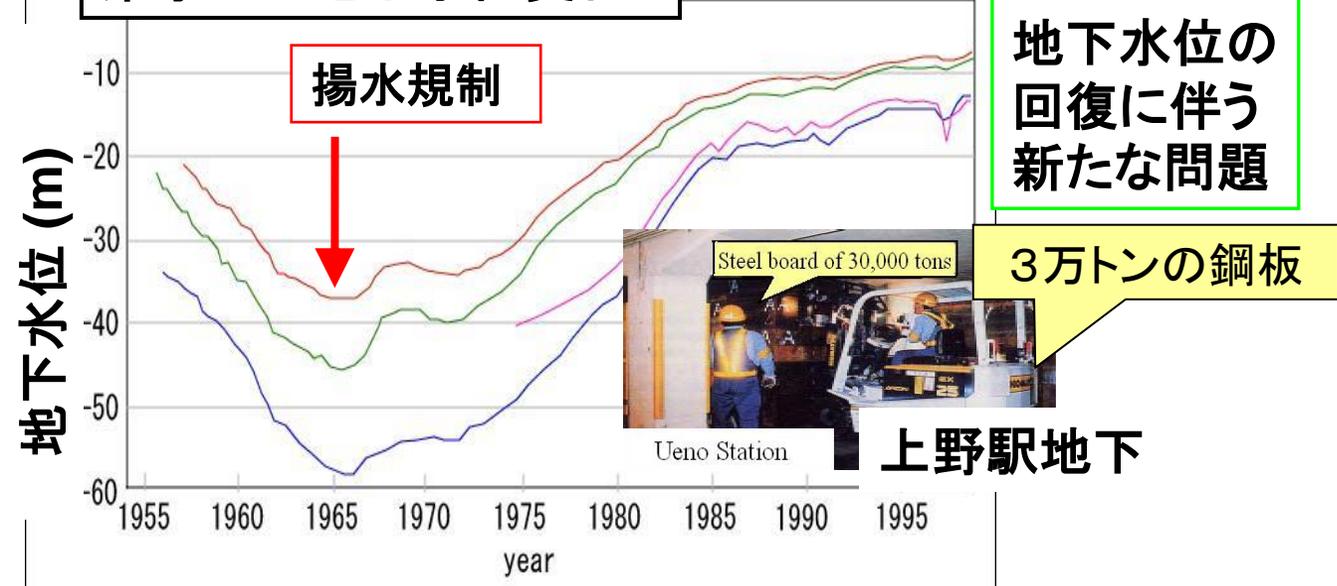
# 地盤沈下の悲劇を超えて

# 水の公共性をめぐる問題

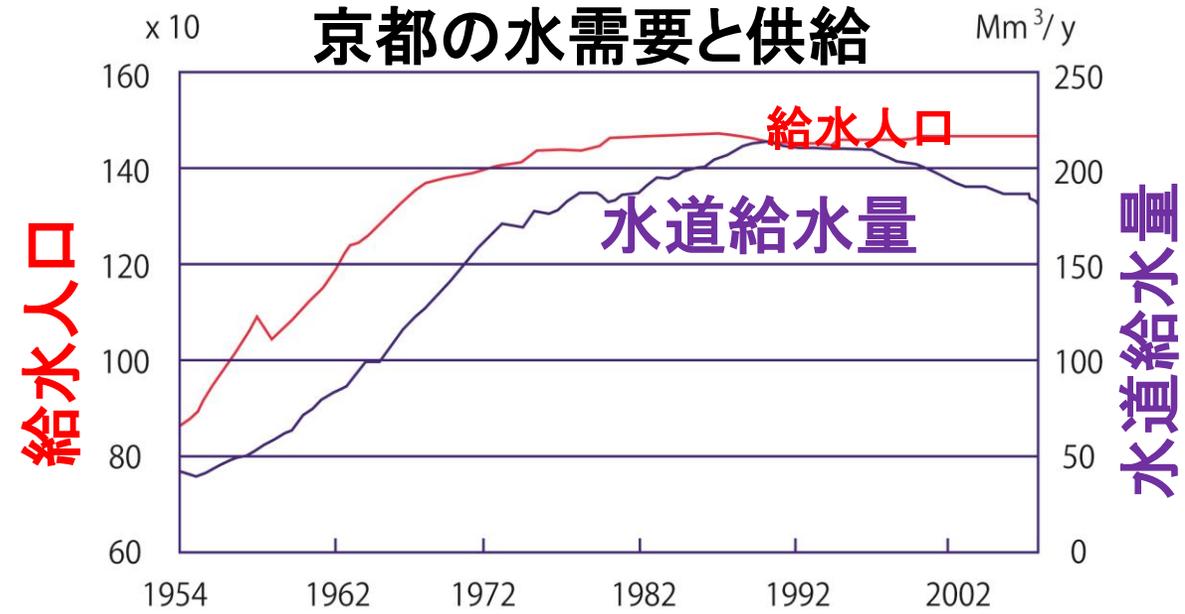
コモンズ論(共有資源)  
(ハーデン:共有地の悲劇)

水は誰のものか? 誰が水をどう管理すればよいのか?  
(オストロム:水の公共性)

東京での地下水位変化



京都の水需要と供給

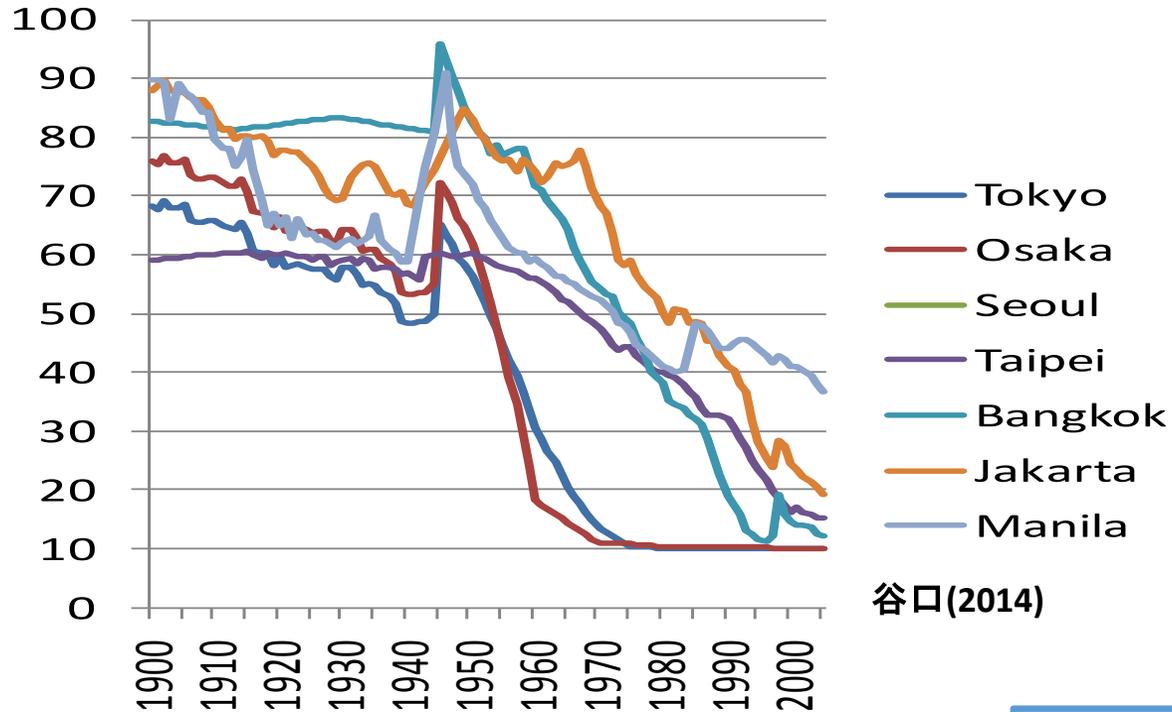


水循環の仕組みを正しく理解すれば持続可能性を損なうことなく賢明な地下水利用が可能!

地下水は無料。地下水と地表水(河川水)は自然界では連続する同じ水だが、管理制度が分断。

# 社会の強靭力・回復力(レジリエンス)としての湧水・地下水

## アジア大都市での地下水依存度



谷口(2014)



岩手県大槌町 旧図書館前  
(2011年6月11日)



都市域での地下水依存度は低下してきたが、災害時・緊急時における代替水資源・安全保障の確保として重要

足元の水資源である「湧水・地下水」は、エネルギーや食料との連環（ネクサス）において「省エネでエコな水供給システム」として、環境負荷の小さい自然循環系の水であり、地震などの災害時においても、社会の回復力（レジリエント）として重要である。

## • 地下水研究の最前線

1)衛星による地下水研究、2)地下温暖化、3)海への地下水流出

## • 地下水問題の様々な視点

1)気候変動への適応、2)水の公共性、3)レジリエンス

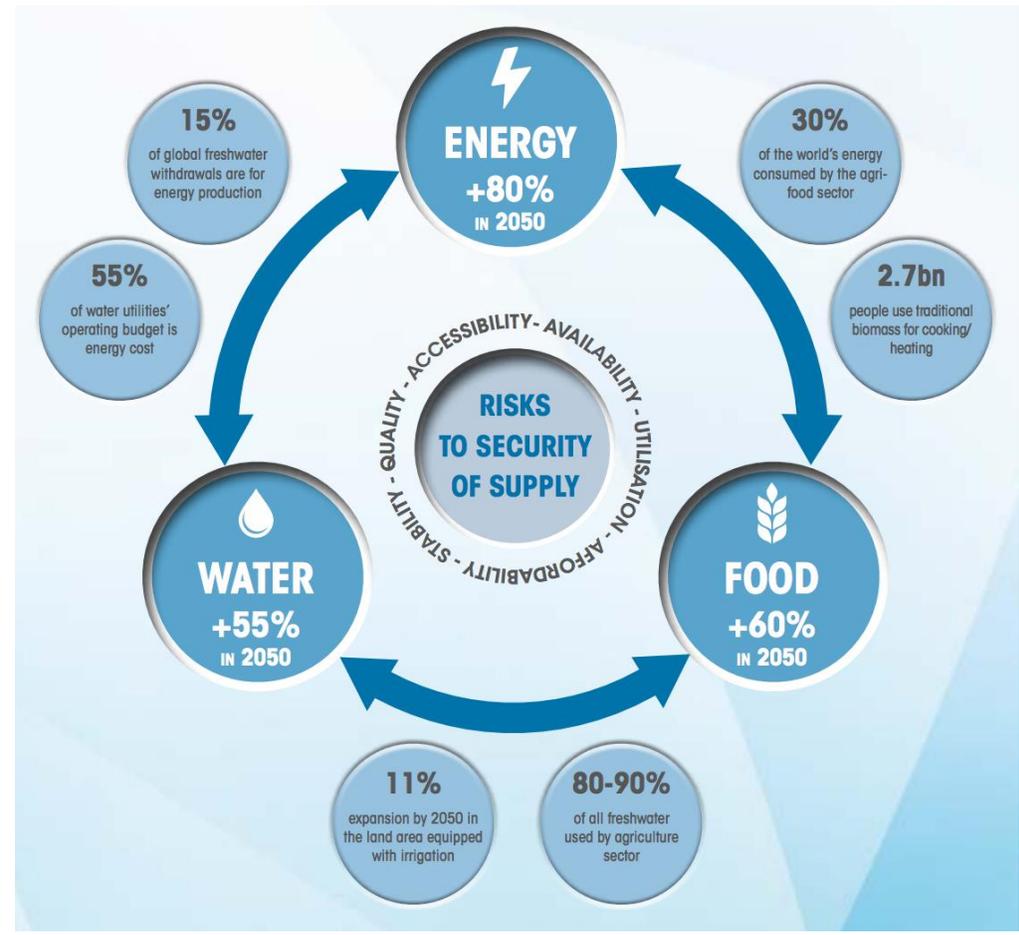
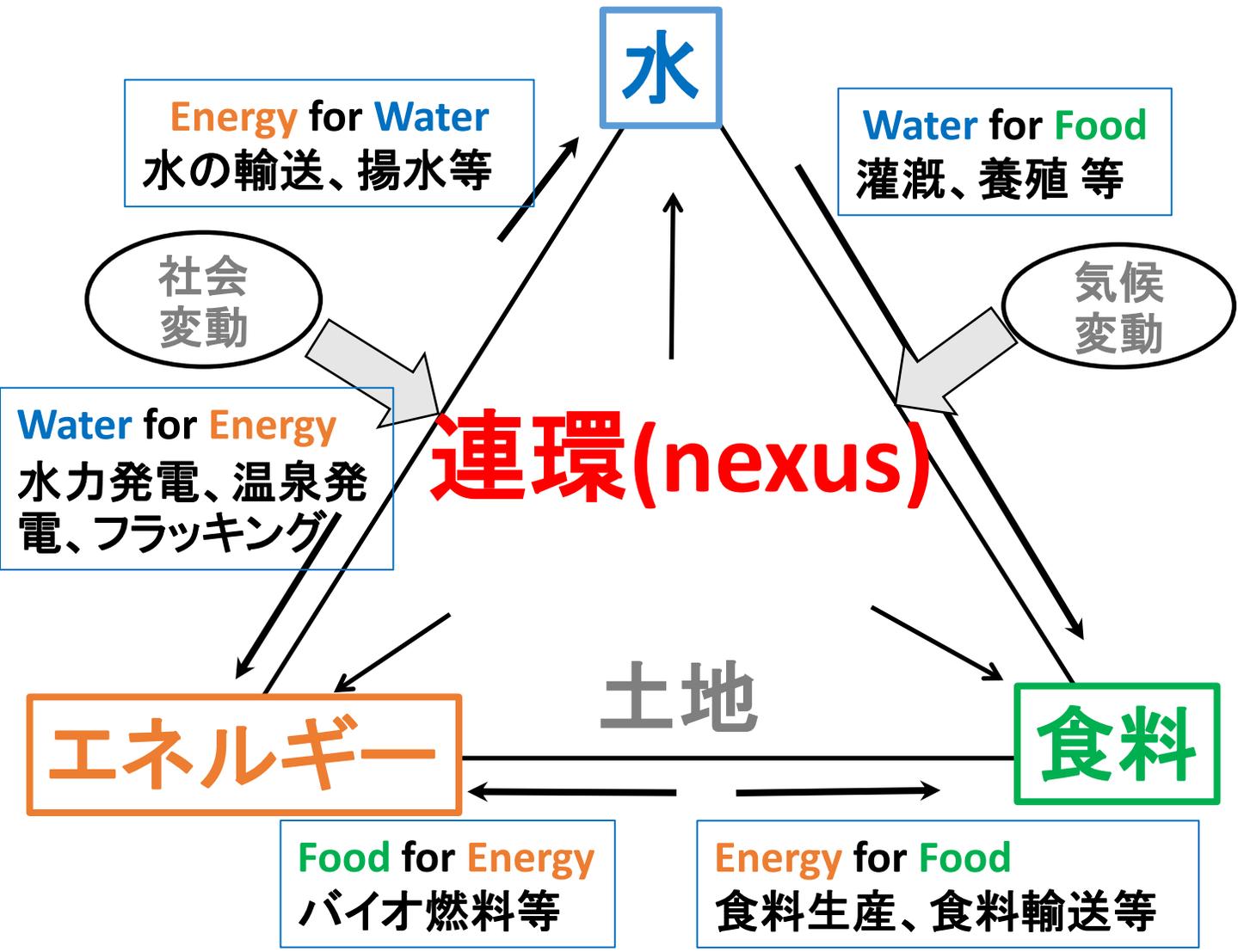
## • 水・エネルギー・食料ネクサスと安全保障

1)貿易と安全保障、2)気候変動の影響、3)ネクサスシナリオ・モデル

## • 持続可能な社会のための地下水研究

1)システムとしての知、2)目標を定める知(SDGs)、3)社会との共創知

# 水・エネルギー・食料ネクサス(連環)と安全保障



資源のトレードオフ      利用者間のコンフリクト

人間環境安全保障 (環境・社会・人)

# 持続可能性

# 安全保障

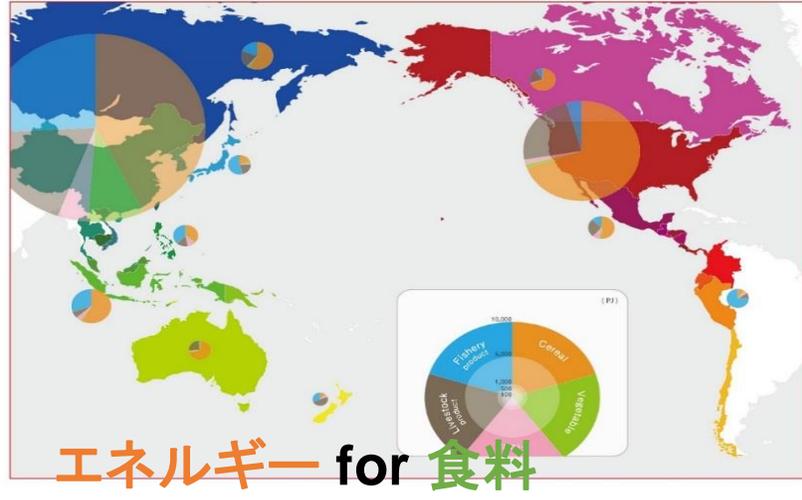
## アジア環太平洋における水・エネルギー・食料自給率

- ◆ 経済
- ◆ 社会
- ◆ 環境

- 生産性
- 効率性
- 多様性
- 安定性
- 平等性
- 自律性
- . . . . .

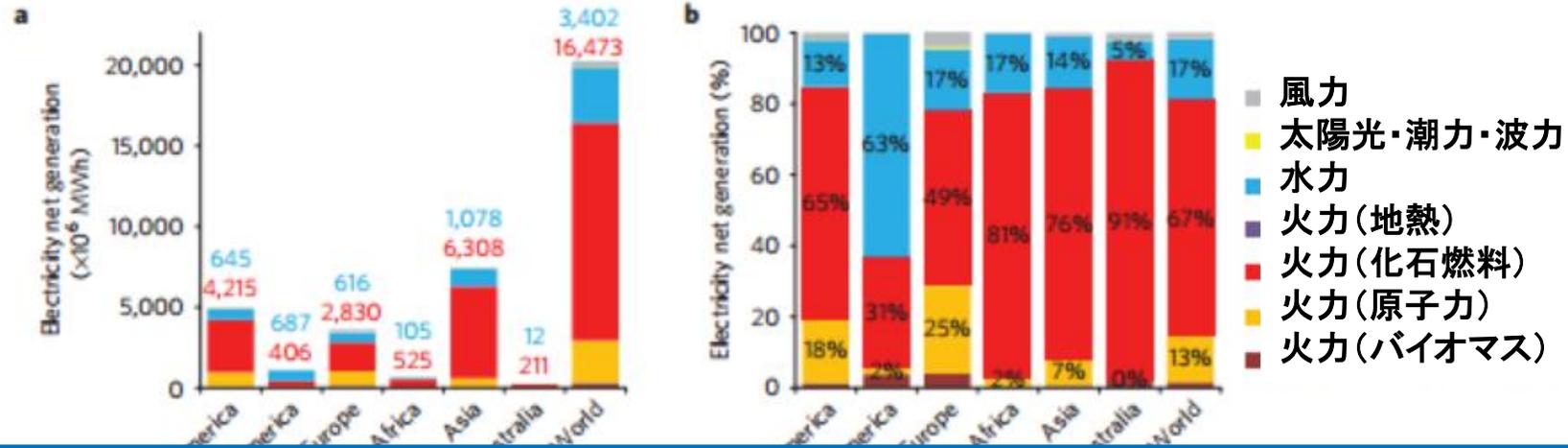


- 生産
- 輸送
- 消費
- 分配
- 技術



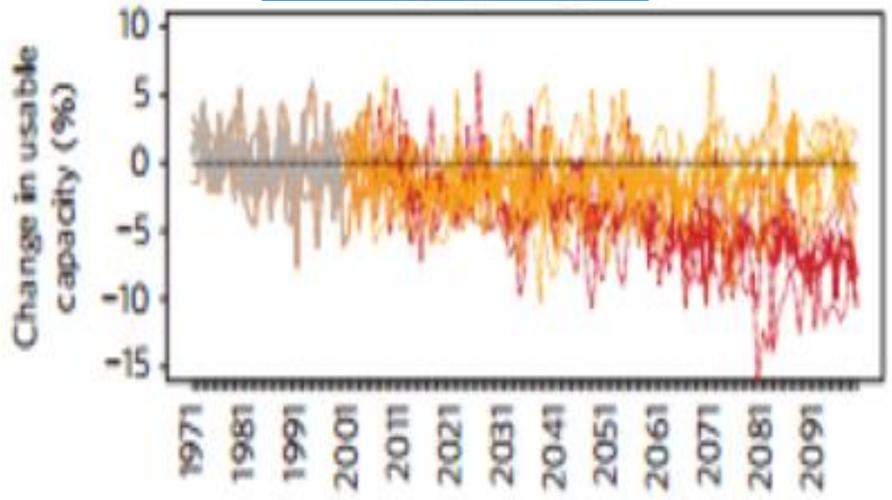
Taniguchi et al. (2015)  
J. Hydrol. Reg. Stud.

# 温暖化による水・エネルギー連環（ネクサス）の変化

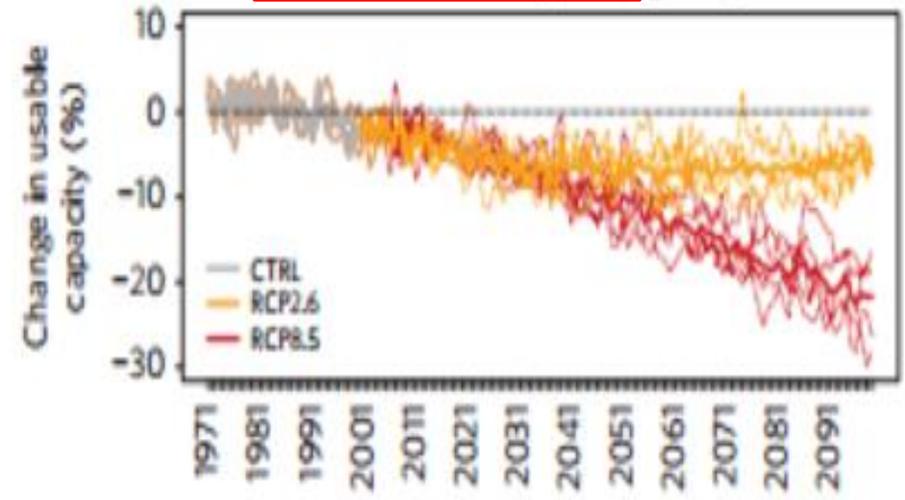


温暖化の影響は降水量変動による水力発電への影響より、水温上昇による火力発電の冷却効果減の方が大きい。

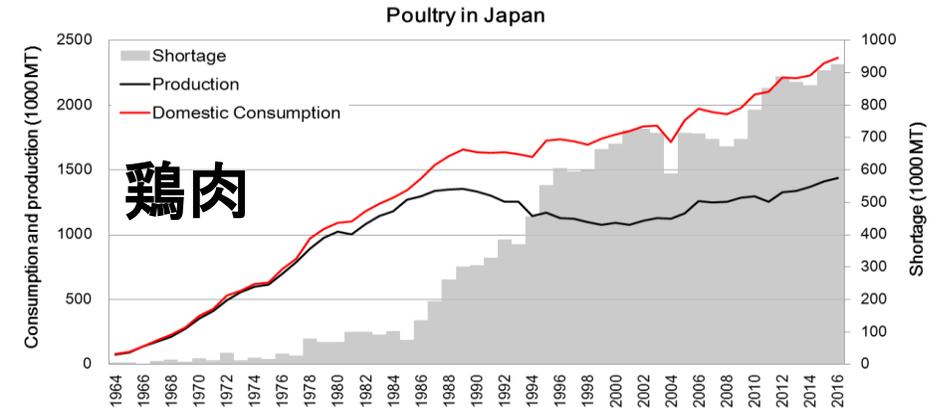
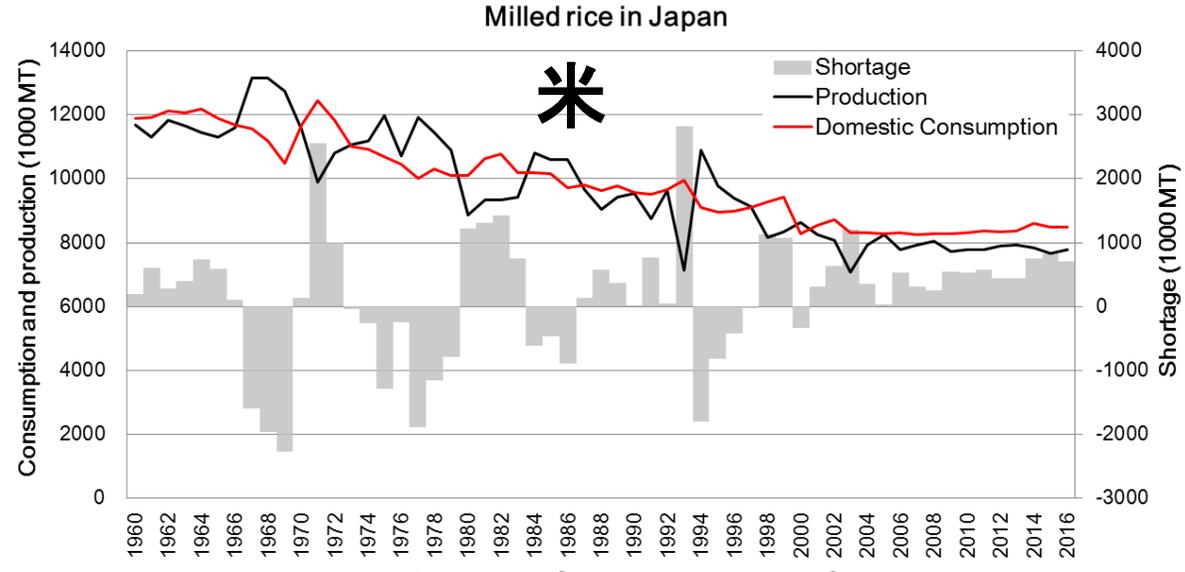
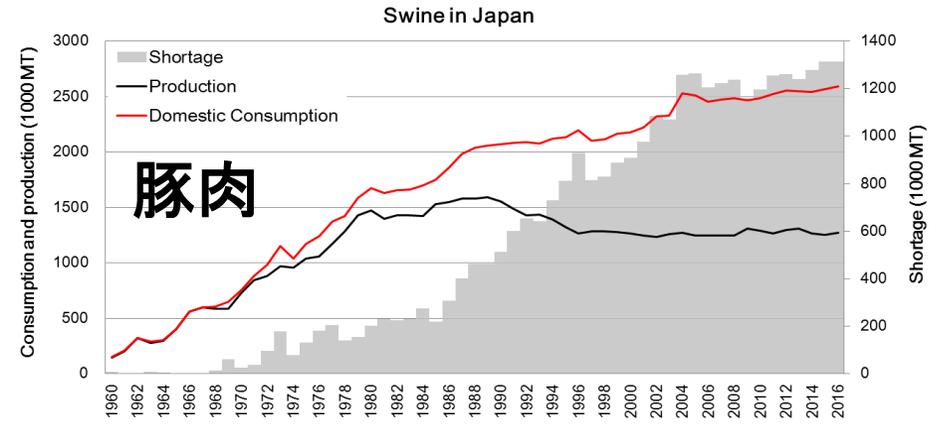
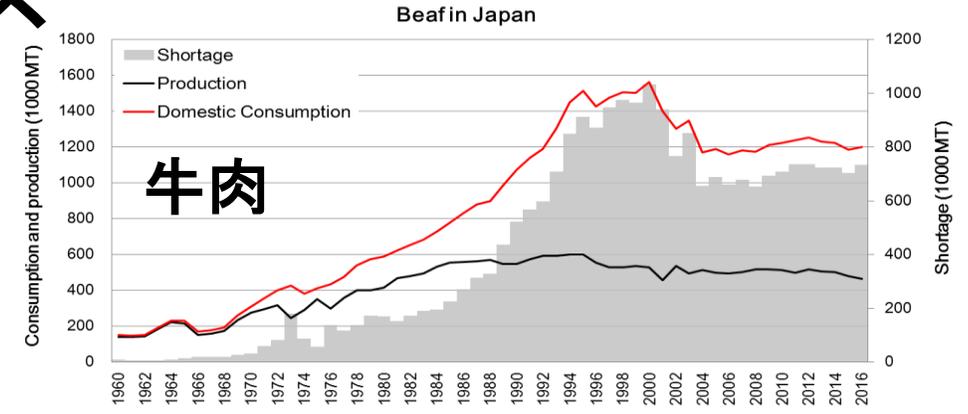
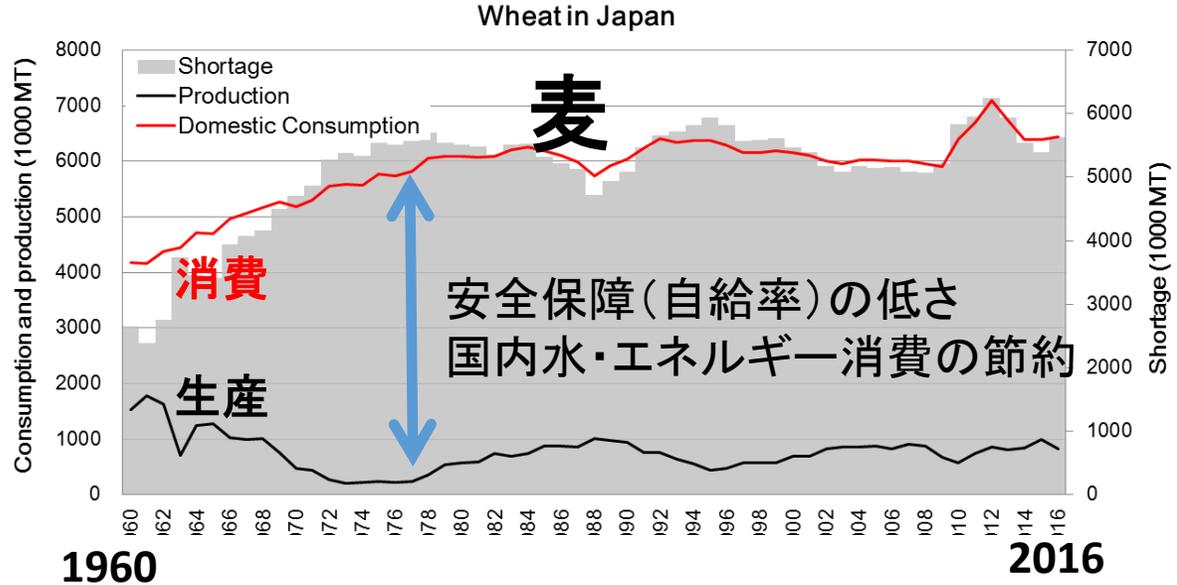
水力発電への影響



火力発電への影響 (global)

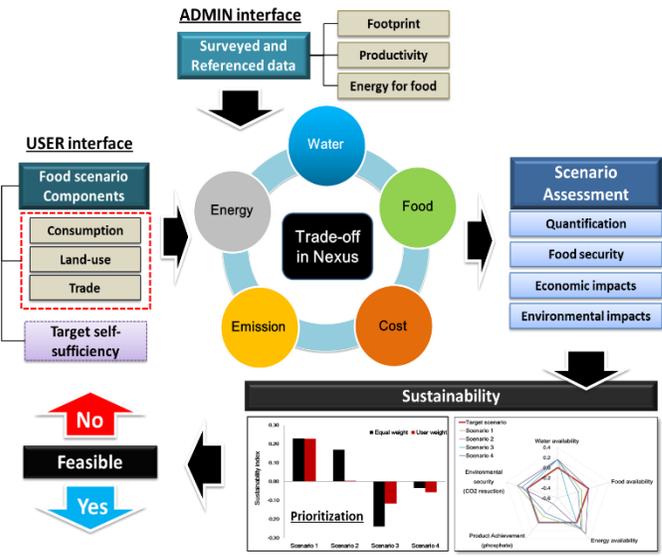


# 貿易と安全保障/水・エネ・食料ネクサス



Lee, S. & Taniguchi, M. (preparation)

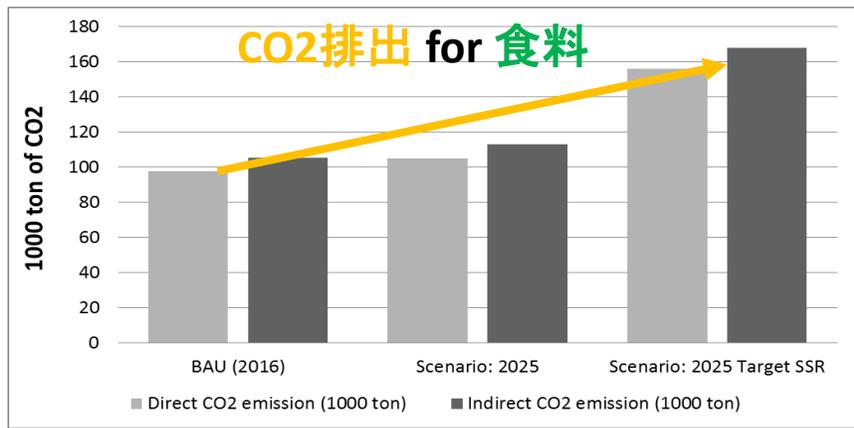
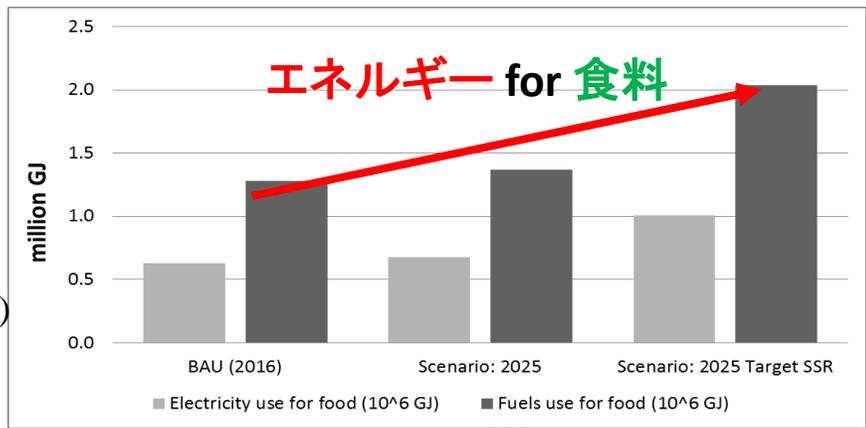
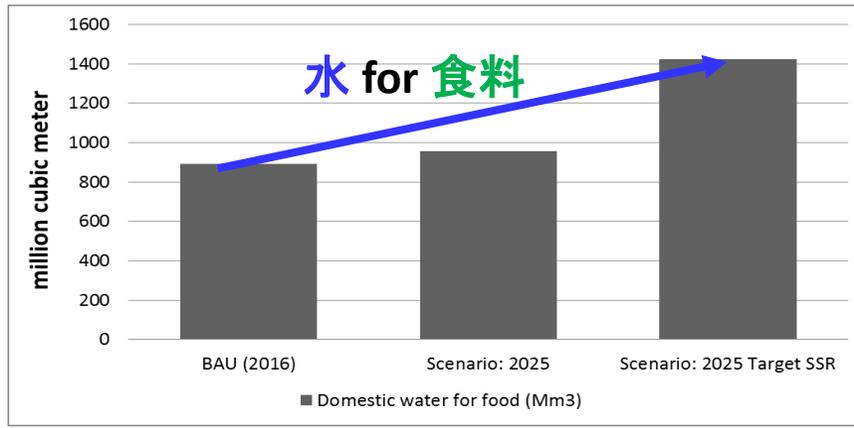
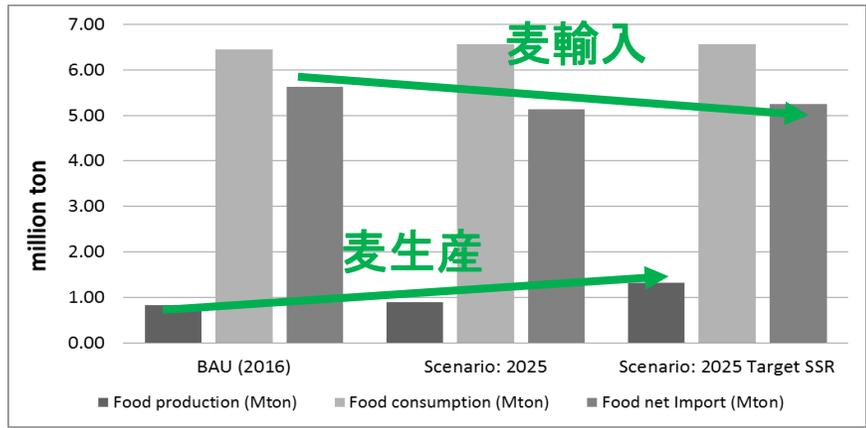
# ネクサスモデル



Lee et al. (2017) in preparation

Variables (wheat)	Business as usual	Scenario: 2025	Scenario: 2025 Target SSR
Food consumption	2016	2025	2025
Food trade	User assumption	User assumption	User assumption
Land use	2016	2025	2025
Target of food self-sufficiency (%)	Rice	100%	80%
	Wheat	13%	20%

## Wheat



## Quantification

- **Food** production and consumption (ton)
- **Water** use for food production (m<sup>3</sup>)
- **Energy** use for food production (GJ)
- **CO<sub>2</sub> emission** by fuels and electricity (ton)

## • 地下水研究の最前線

1)衛星による地下水研究、2)地下温暖化、3)海への地下水流出

## • 地下水問題の様々な視点

1)水の公共性、3)レジリエンス

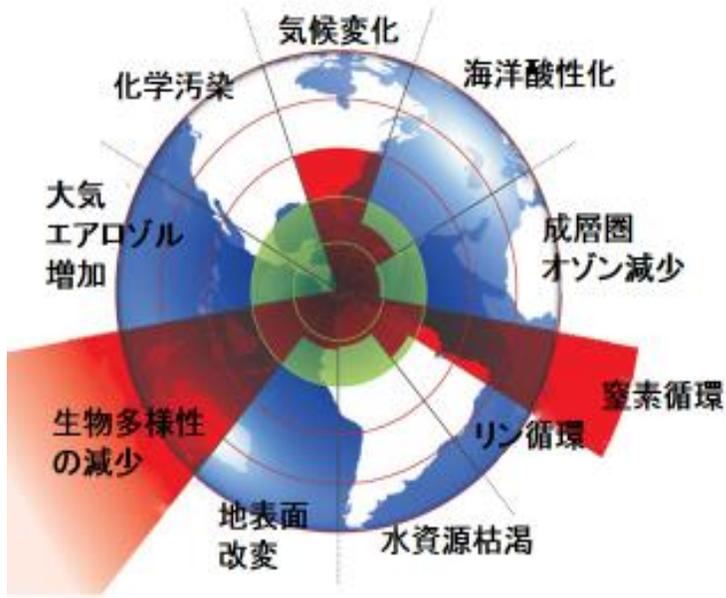
## • 水・エネルギー・食料ネクサスと安全保障

1)貿易と安全保障、2)気候変動の影響、3)ネクサスシナリオ・モデル

## • 持続可能な社会のための地下水研究

1)システムとしての知、2)目標を定める知(SDGs)、3)社会との共創知

# (1)地球環境の限界 Planetary Boundaries



我々には何が欠けているのか？

## ① システムとしての知

バラバラの知識ではなく  
システムとしての“知”

## ② 目標を設定する知

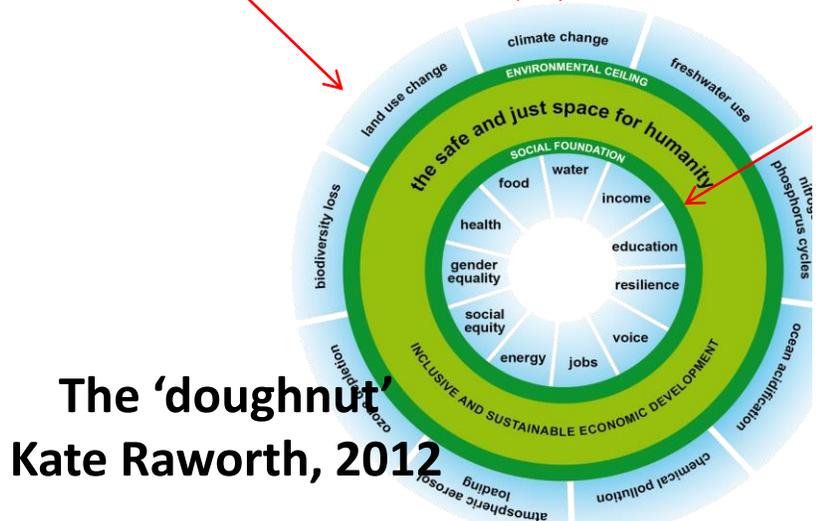
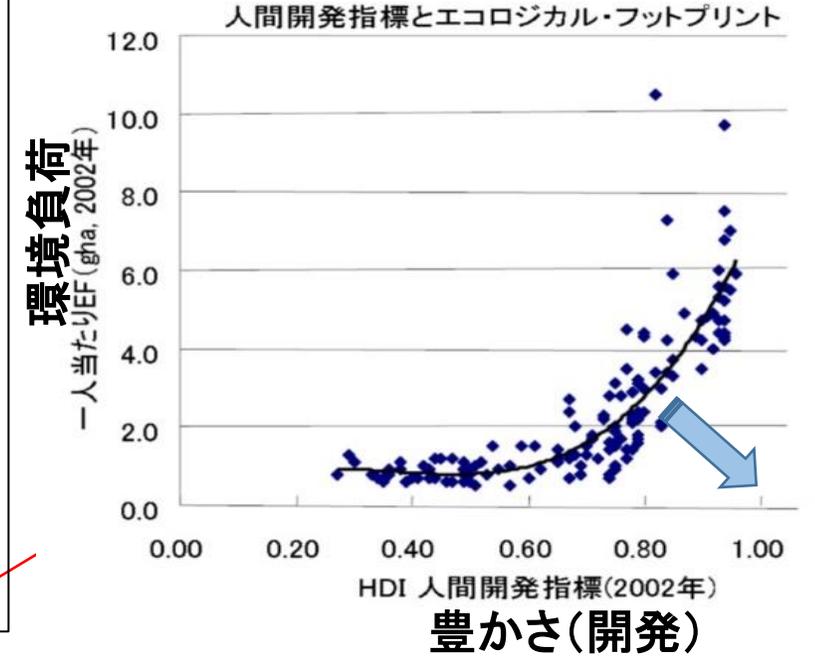
共有できる目標を定める“知”

## ③ 社会との共創

より良い社会へ変革するために、  
社会と共同で作る“知”

## (3)意思(政策)決定

# (2)豊かさの追求

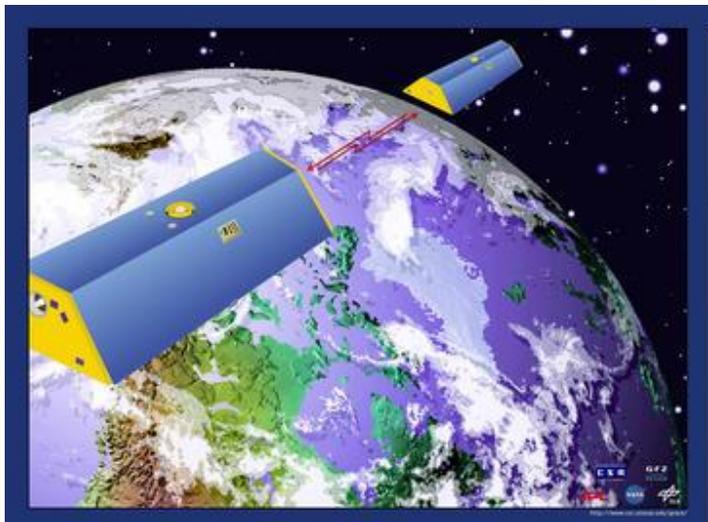


The 'doughnut'  
Kate Raworth, 2012

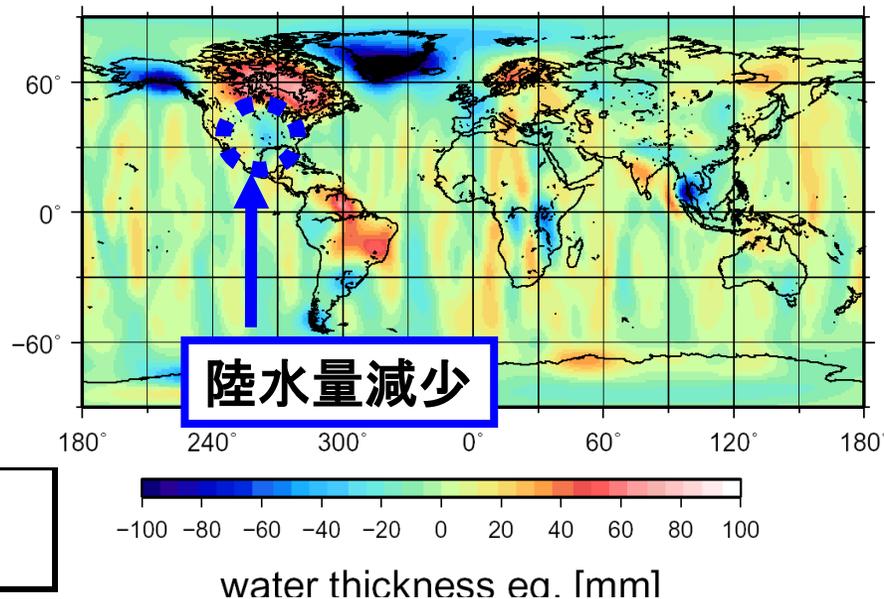


SGDs: 持続可能な社会のための目標

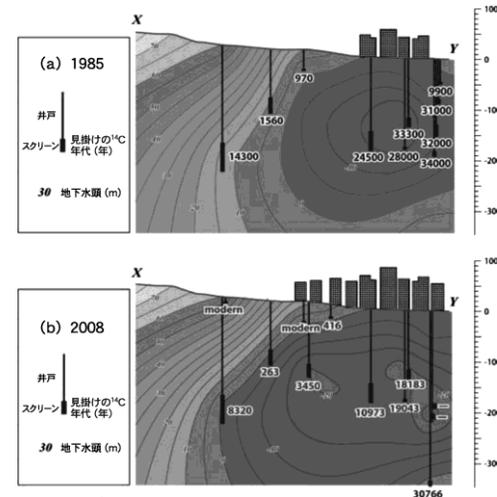
# ① システムとしての知



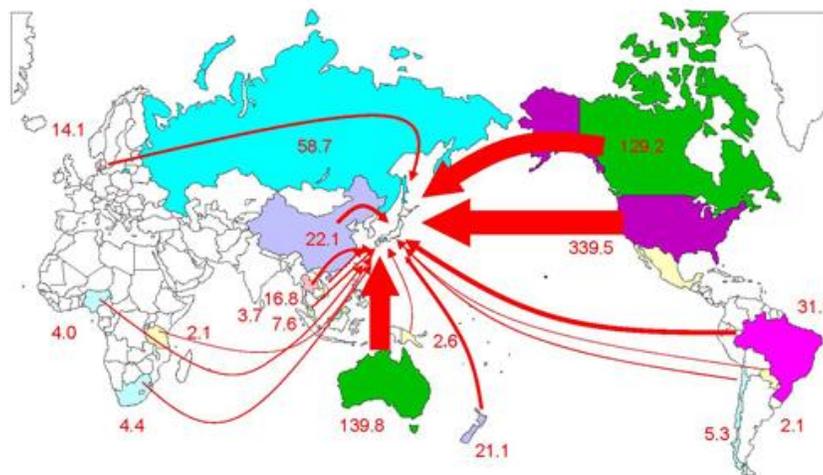
双子衛星 GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment)



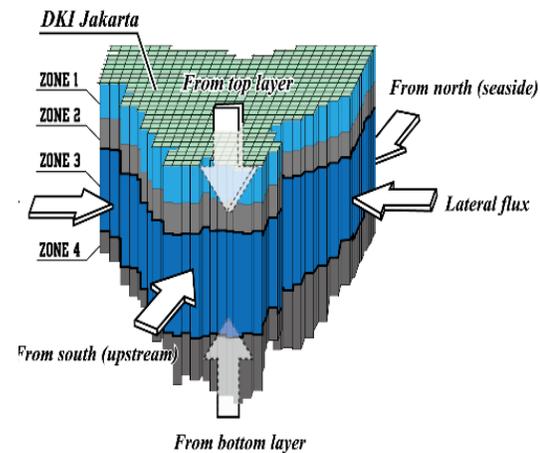
観測



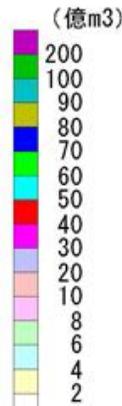
モニタリング



Water footprint

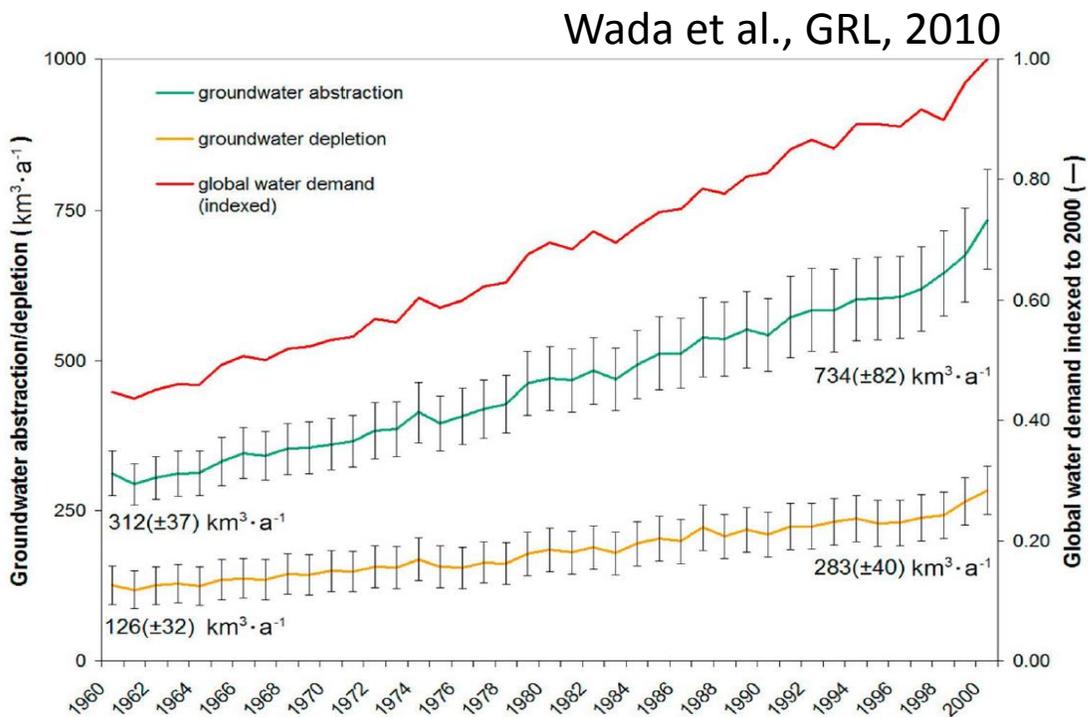


モデル

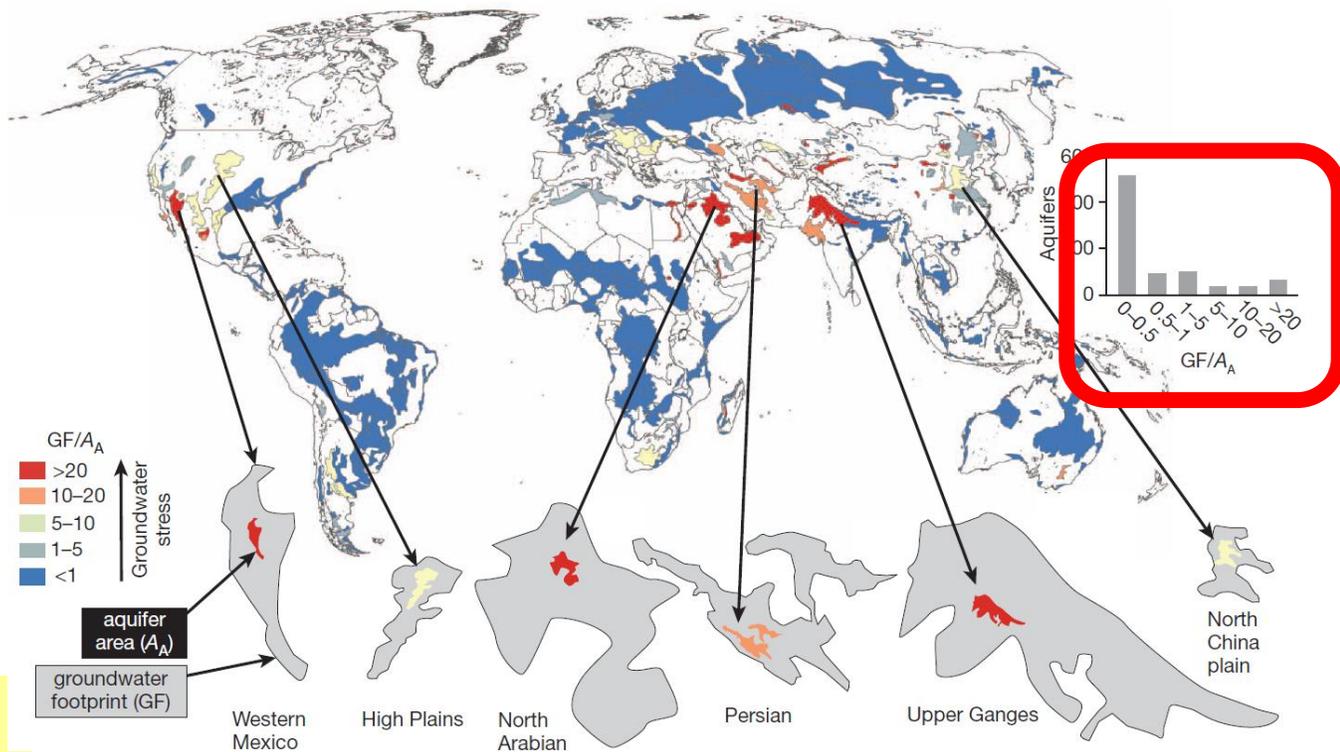


# ② 目標を設定する知

地下水フットプリント



Glesson et al., 2013



世界における地下水貯留量減少の増大  
 126 billion ton/y (1960) → 283 billion ton/y (2000)

GF/Aa = 3.5

持続可能ではない

現状理解⇒持続可能性指標(SDGs, footprint, LCA)等への換算(コンセプト、情報/IT, big data)

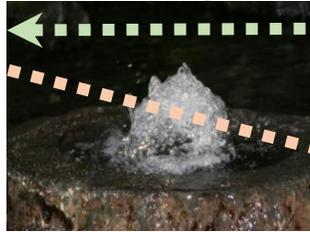
システム知⇒

⇒ 目標知

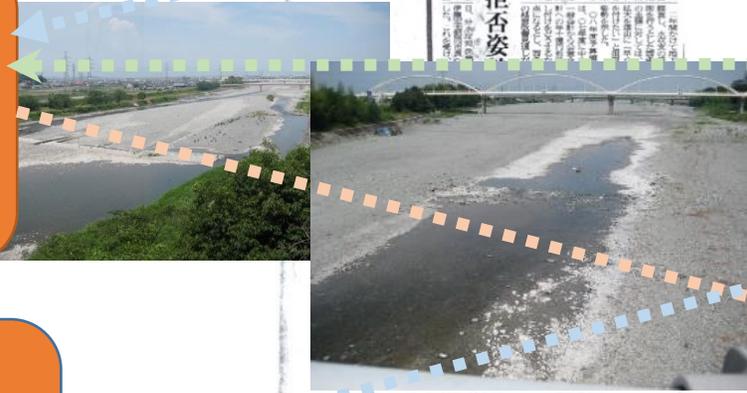
# ③ 社会との共創

社会と科学(自然・人文社会)の共創(例:愛媛県西条市)

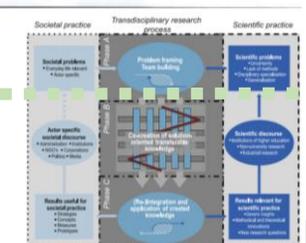
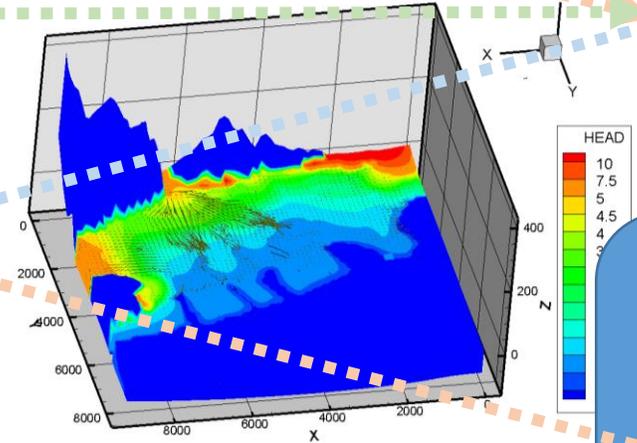
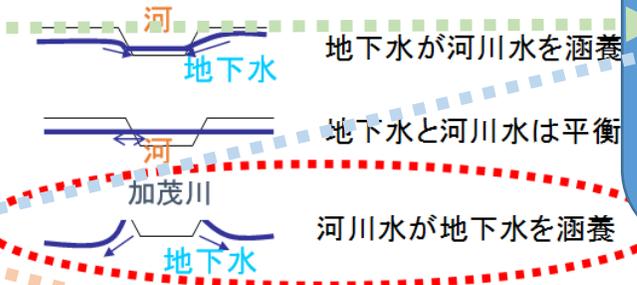
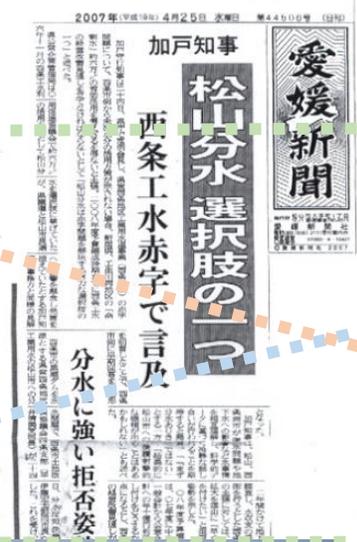
越境水による打ち抜き井戸自噴量低下・塩水化への影響



瀬切れの写真を市民が毎日取る



毎秒3.5トンの伏没水流を法制度化へ



Lang et al., 2012

河川伏没量評価の科学的知見が不足(自然科学)  
越境水・公共資源に対する法・社会制度構築の知見不足(人文社会)

これまでの科学知で得られなかった知(自然・人文社会)が得られる

河川水-地下水統合モデル(伏没水量評価)の精度向上(自然科学)  
コモンズに対する新たな知(人文社会)