

第26回ズーム三水会記録

日時：2023年8月16日（水）16時～18時

- ① 発表テーマ：**気候変動が変えた農業、そして社会**
- ② 発表者：田家 康氏 農林中金総合研究所客員研究員 日本気象予報士会東京支部長
- ③ 司会：大和田巖氏

参加者 12名（敬称略） 大和田巖 村沢澄子 團野廣一 野口幹夫 波治裕美 富沢賢治

小関 栄 今尾和美 野崎俊一 岩垂弘 丸山茂樹 中村範子

報告内容：人類史が始まって以来、地上の気候変動とともに生活し発展してきた有様を次の3つの項目順で解き明かしていただいた。

I. 気候変動とは何か：過去の推移とその要因

II. 気候変動が変えた農業、そして社会

1. 農業の開始：1万年前頃にあった人類史の画期
2. 農業の転換：5000年前頃のメソポタミア
3. 農業の革新：小氷期という寒冷な時代の農業の転換

III. 人為的地球温暖化による気候変動と農業の未来

質疑討論：広範な展望と新しい視野を広げていただけたことに皆さんが感謝を表明した

質疑は特に気候変動の転換期にある現代の食料危機の打開策の展望に多く集まった。

当日の録画のユーチューブ：<https://youtu.be/OEPYoxSDvAA>

添付資料 次ページ以降

2023年8月16日
三水会

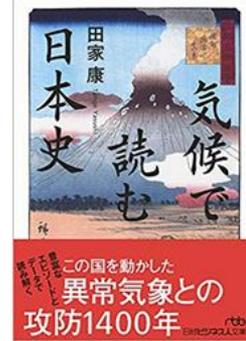
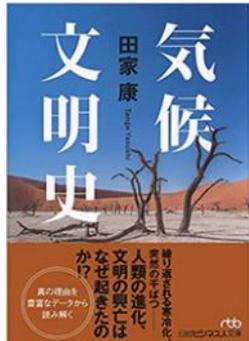
「気候変動が変えた農業、そして社会」

日本気象予報士会

田家 康 (No.3365)

- 2001年、気象予報士試験合格。日本気象予報士会東京支部長
- 農林中央金庫森林担当部長、(独)農林漁業信用基金漁業部長を経て、(株)農林中金総合研究所客員研究員。
- 2010年から最新の研究成果を踏まえた気候変動と歴史の関係について、日本経済新聞出版社より刊行。

日経ビジネス人文庫:お安くなっています!



- 古気候研究についての解説書の体裁
- エルニーニョ現象の影響をローカルな気象から全球規模まで解説
- 日本人の祖先が気候変動に対しどのように立ち向かってきたか、通史として解説

- 気象現象と歴史の40編のエピソード集
- 平成のコメ騒動、地球温暖化論の歴史など
- 歴史上の人物と気象にフォーカス。
- 気象・気候と農業とは歴史的に深く関わっており、今回はその視点で過去を振り返り、未来を展望します。

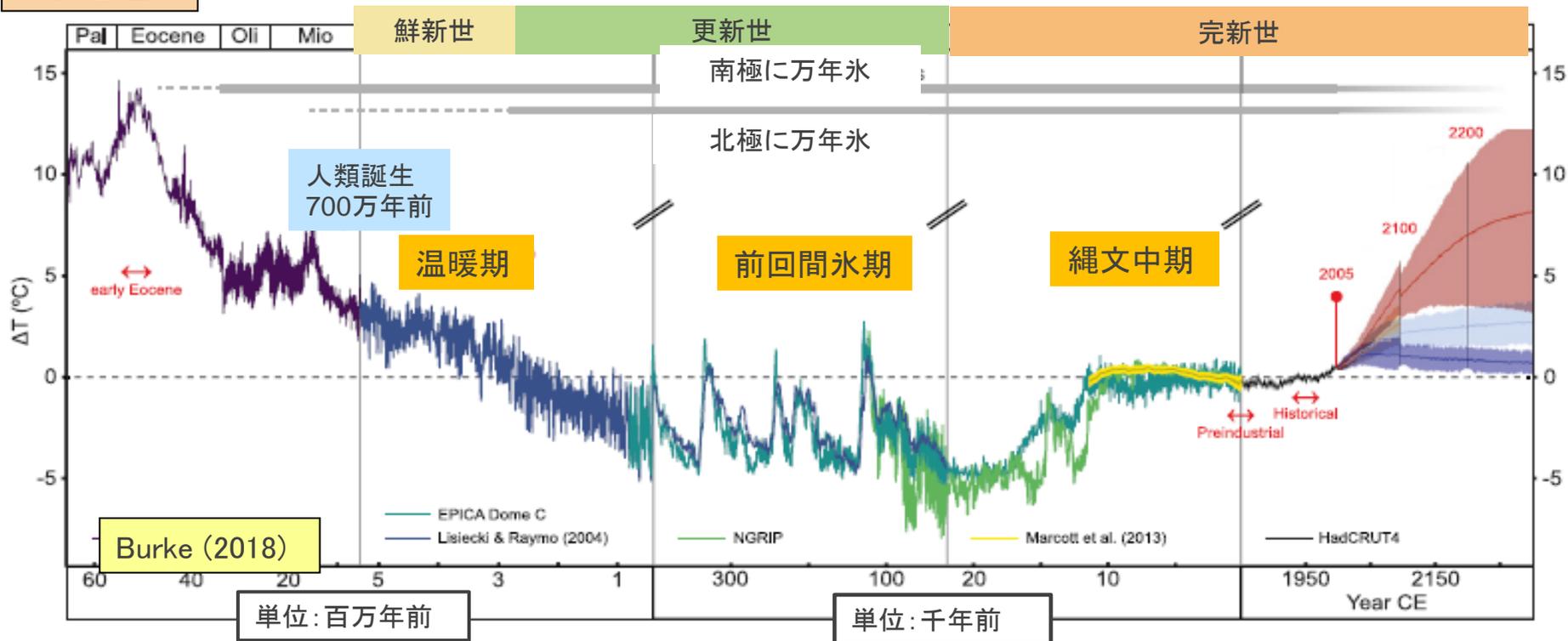
気候変動から歴史・農業・社会を考える

- 人類史の中で、食料を得る手段としての農業が大きなポイントだった。
- 農業の発展とともに、複雑な社会が登場し、繁栄が築かれた。
- 食料生産は、歴史を考える上でキーワードであり、将来にわたってその重要性は変わらないのではないか。
- 本日の講座のメニュー
 - I. 気候変動とは何か：過去の推移とその要因
 - II. 気候変動が変えた農業、そして社会
 - 1. 農業の開始：1万年前頃にあった人類史の画期
 - 2. 農業の転換：5000年前頃のメソポタミア
 - 3. 農業の革新：小氷期という寒冷な時代の農業の転換
 - III. 人為的地球温暖化による気候変動と農業の未来

I . 気候変動とは何か 過去の推移とその要因

気温: 1960~
1990年平均
からの偏差

人類が誕生して以降の地球の気候



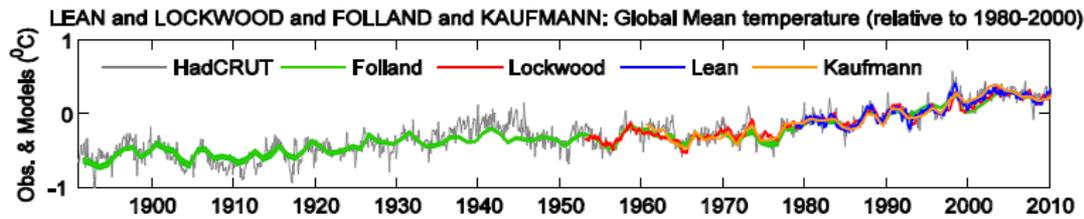
- 現在は、1970年代に12世紀頃の中世温暖期、20世紀終わりに6500年前の縄文時代(完新世中期)の高温期を突破した。2023年7月、12万年前の前回間氷期程度になったという。21世紀末に鮮新世中期の高温期に匹敵するとの警鐘。
- 鮮新世中期(400万年~300万年前中心): 全球平均気温が現在よりも約 4°C 高温で、海面水位は16.2メートル高かった。大気中の CO_2 濃度は約400ppm。

気候変動を起こす要因

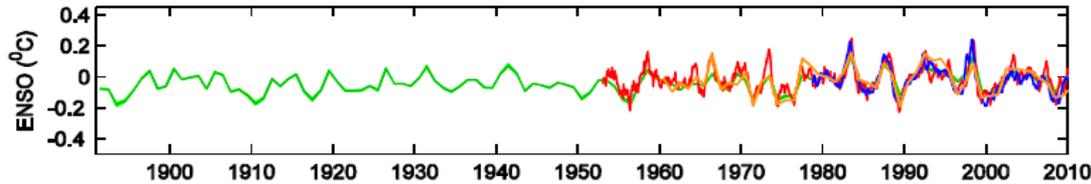
- 外部強制力: 気候システムの外からの要因
 - 自然要因
 - 数十万年単位: 大陸移動・隆起、火山活動の連続、珪藻の光合成
 - 数万年単位: **地球軌道の変化** (離心率、自転軸の傾き、歳差運動)
 - 数千年～数十年単位: **太陽活動の変化**
 - 数十年～数年単位: **巨大火山噴火**による「火山の冬」
 - 人為的要因
 - **自然破壊**: 森林伐採、湖の枯渇など
 - **公害**: 硫黄酸化物、窒素酸化物など
 - **温室効果ガス**: 二酸化炭素などによる地球温暖化
- 内部変動: 物理学でいう「ゆらぎ」、100年程度を考えると平均回帰
 - 短期的なものに偏西風の蛇行: 異常高温・異常低温の原因
 - **エルニーニョ現象**
 - 太平洋・大西洋の海面水温の変動
 - 北極で気圧変動 (**北極振動**: 日本の冬の寒暖に影響)
- 3つの要因で起きる気候変動が、歴史・社会・食料をどう変えていったか。

IPCC・第5次評価報告書 での要因分析

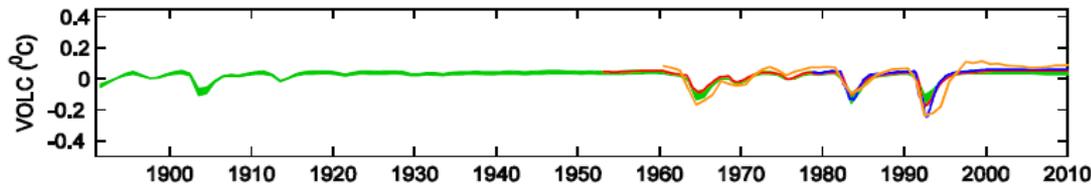
- 全体の変化



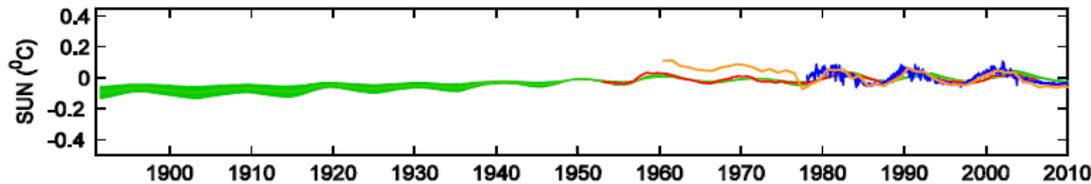
- エルニーニョ現象(内
部変動)



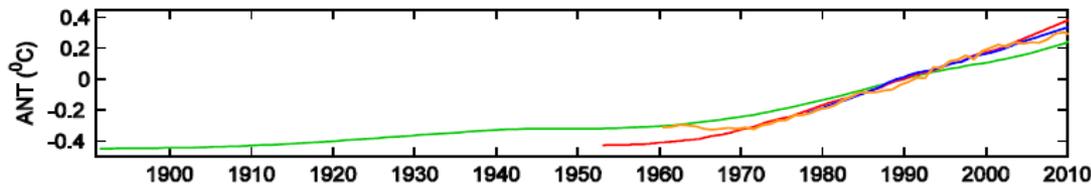
- 火山噴火(外部強制の
うち自然変動)



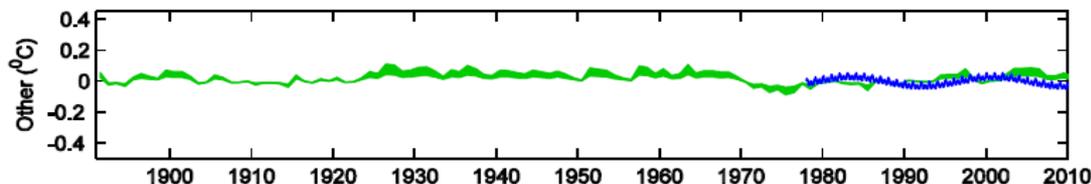
- 太陽活動(外部強制の
うち自然変動)



- 人為的要因(外部強制
:温室効果ガス、硫酸・
硝酸などのエアロゾル
の影響)



- その他



IPCC: AR5 Chap.10

Ⅱ. 気候変動が変えた農業、そして社会

1. 農業の開始

- 1万年前頃の激しい気候変動と人類史の画期
- 狩猟採集生活から農業を営む生活へ

2. 農業の発展

- 天水農業⇒氾濫農法⇒灌漑農法
- 気候変動と文明の興隆
- 5000年前頃のメソポタミアとエジプト

3. 農業の革新

- 小氷期という寒冷な時代の到来と社会の危機
- ヨーロッパでの農業の転換が世界に拡散

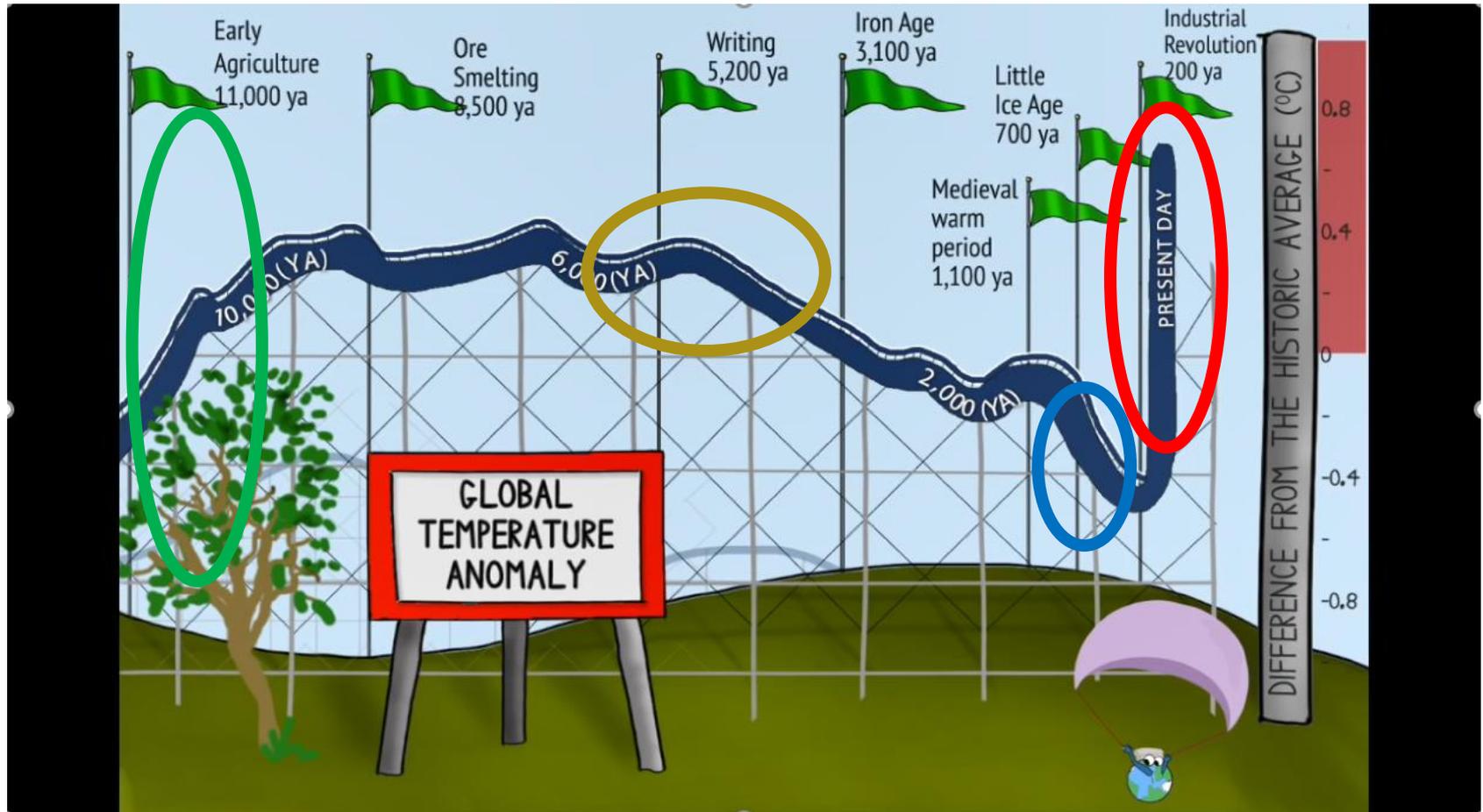
最終氷期以降の地球の気温推移

農業の開始

農業の発展

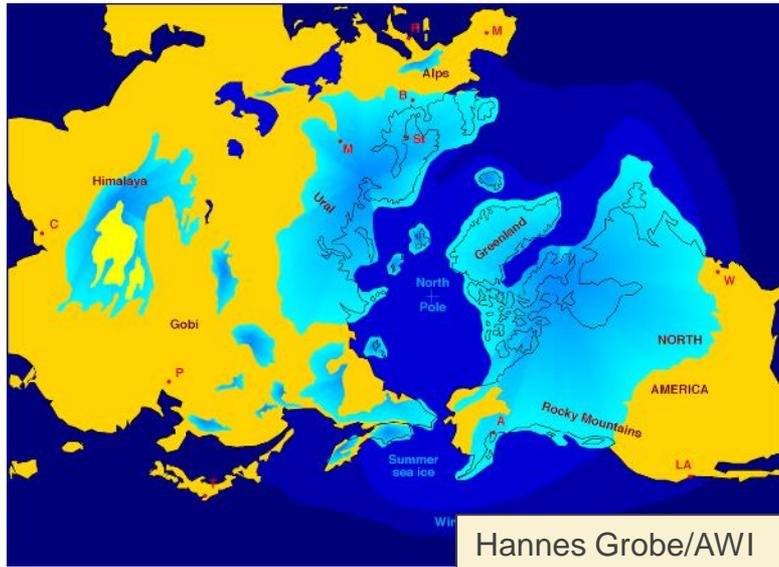
農業の革新

新たな農業？



アメリカ海洋大気庁HP

2万1000年前の万年雪・万年氷(氷床)



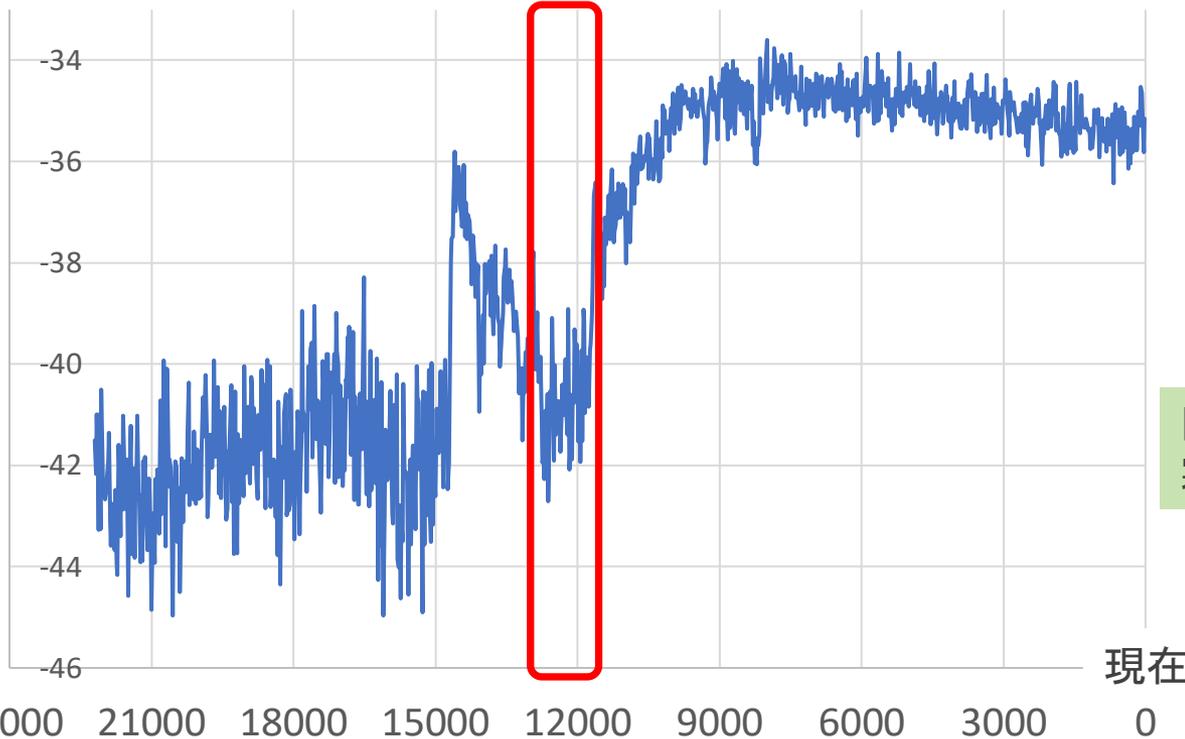
- 現在の万年雪・万年氷の大陸
 - グリーンランド氷床と南極氷床
- 最終氷期の極寒な時代
 - 北米: ローレンタイド氷床、コルディレラ氷床
 - 欧州: スカンジナビア氷床、アルプス氷床(フランス中部やドイツまで迫る)
- 北半球は白い大地が広がっていた。
 - 太陽光を宇宙に反射することで、地球に留まる太陽エネルギーが減少。
 - さらに寒冷化が進行する。アイス・アルベド・フィードバック
- 南半球でも、南米高地やニュージーランドに氷床があった。
- 現生人類の世界人口は、13万~41万人と推計される



Ⅱ-1. 農業の開始

最終氷期を終えた後の異変

気温高



ドリラスニョウノスケソウ
寒冷な地に咲く草花

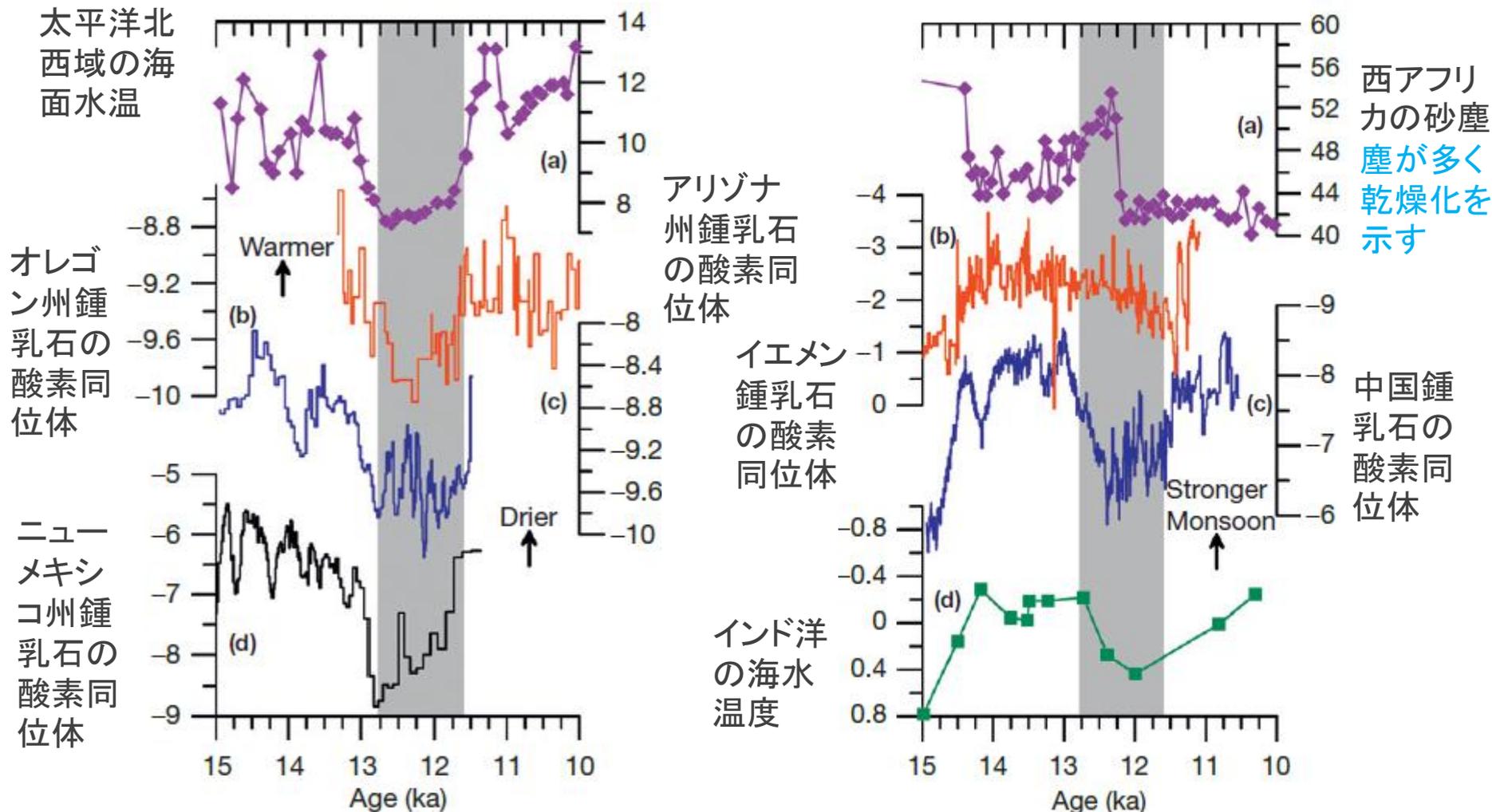
気温低

年前

- 地球の軌道が変わり、北半球の日射量増大により最終氷期が終わる。
 - しかし、突然の急激な「寒の戻り」があった(グリーンランドの万年氷の解析)
 - ヤンガードリアス期: 1万2900年～1万1500年前

Vinther et al (2005)
Greenland Ice Core
Chronology

世界各地に残るヤンガードリアス期の痕跡



Carlson(2013) The Younger Dryas Climate Event.

なぜ世界を襲う寒冷化が起きたのか？



Leydet (2018) Opening of glacial Lake Agassiz's eastern outlets by the start of the Younger Dryas cold period.

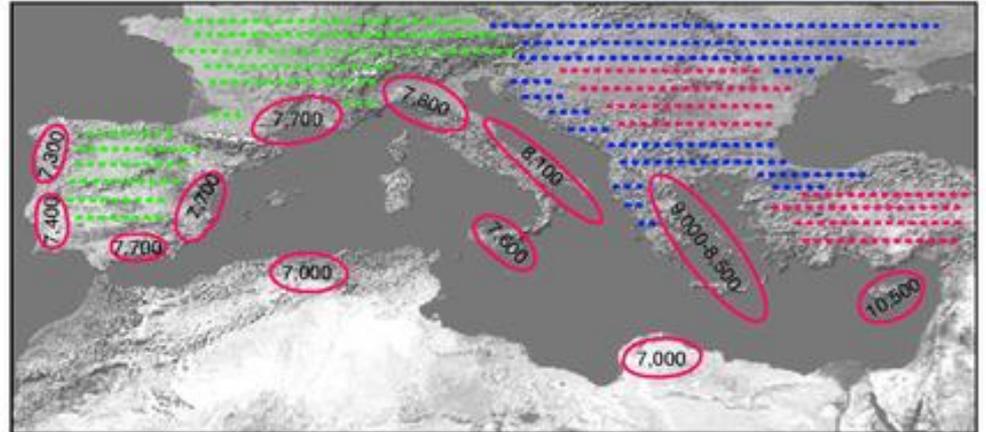
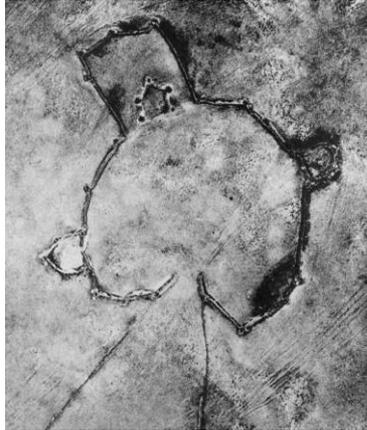
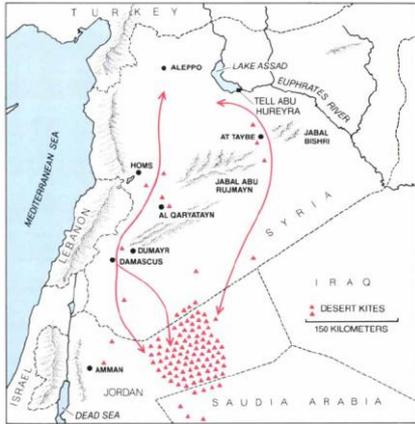
- 実は科学的な決着はついていない。
- 現時点の有力説
 - 北米大陸には氷床で覆われていた。⇒最終氷期が終わり、温暖化する中で氷床が融解していった。
 - 北米のアガシ湖からの雪解水は、細々とメキシコ湾に流れていた。
 - ところが、融水湖が決壊し、大量の真水が大西洋に流れ込んだのではないかと(地質学的証拠の有無が論点)。
 - 真水が大西洋に大量に流れ込むことで、海流が大きく変化した、地球規模の寒冷化を招いた。
- 巨大火山噴火説や隕石衝突説もあるが、近年の研究で否定されている。

ヨルダン川西域での気候の変化



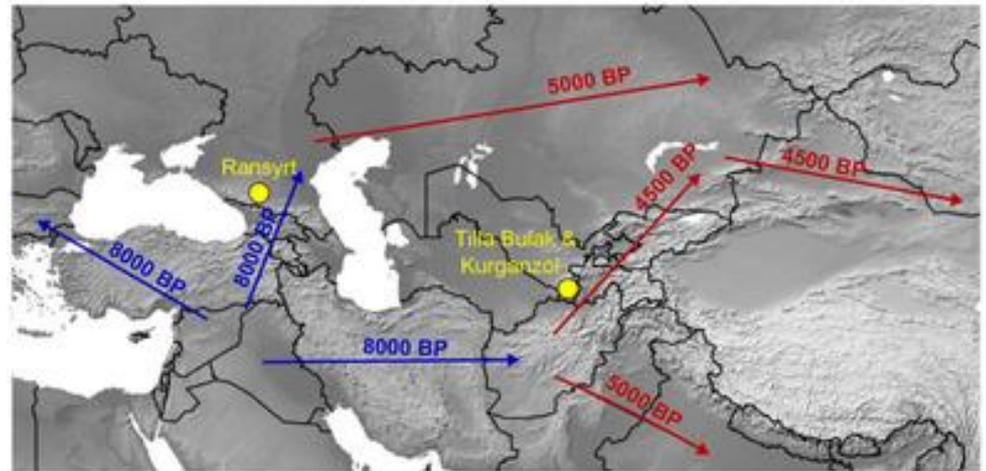
- ヨルダン川西岸のナトゥフ: 最古の都市と言われ、文明・技術が高かった)
- ヤンガードリアス期の気候変動の影響。
 - 東地中海の海面水温は低下
 - 死海の湖面水位は上昇
- 米国科学アカデミー紀要(PNAS)掲載論文(Hartman et al 2016年4月)の説
 - ヨルダン川西域で狩猟したガゼルの歯の炭素同位体や酸素同位体から当時の気候を推定。
 - ヤンガードリアス期の気候は、寒冷で降水量が増加していた。
 - 野生の植物の生長は妨げられた。
 - このため当地の人類は、エリコ(最古の町)などの山間の村落から、より温暖で植物の豊富なヨルダン渓谷に移住した。

1万1000年前頃、羊の牧畜も開始



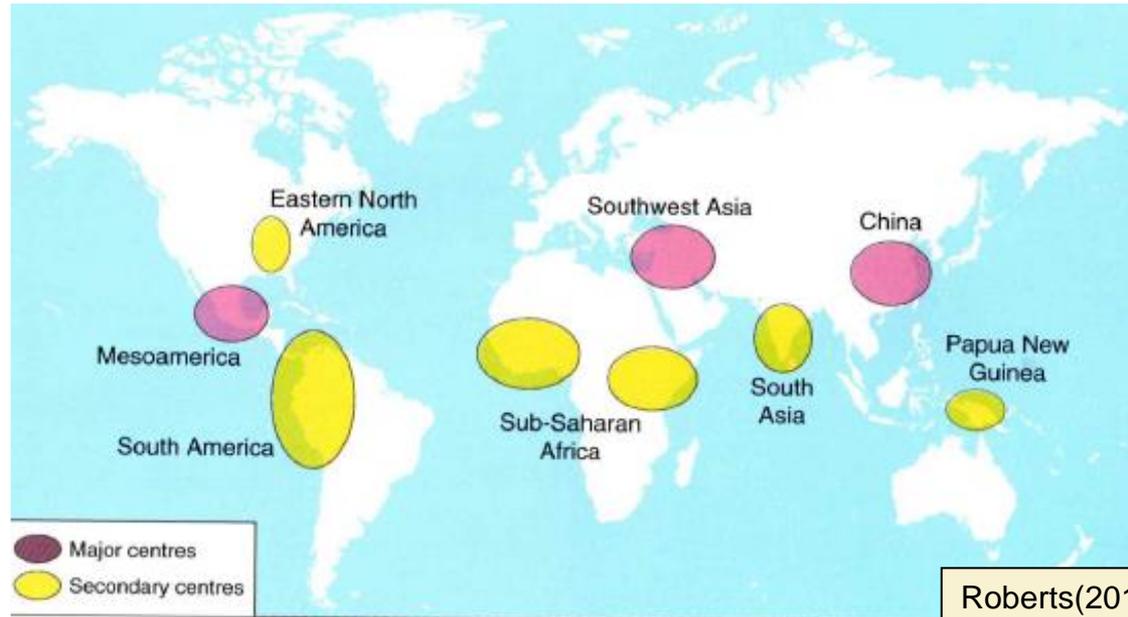
Legge and Rowley-Conwy (1987)

- もともと、ガゼルが繁殖期に合わせて季節移動することに着目し、塙で囲い込んで狩猟をしていた。
- ヤンガードリアス期の食料不足の時期は、子供の骨も増加。中東ではガゼルは絶滅してしまう。
- 1万1000年前頃にレバント北部のザガロ高地で、羊の牧畜を開始した。



Atavliyeva(2018) :Genetic History of Sheep Domestication.

農業と牧畜の開始

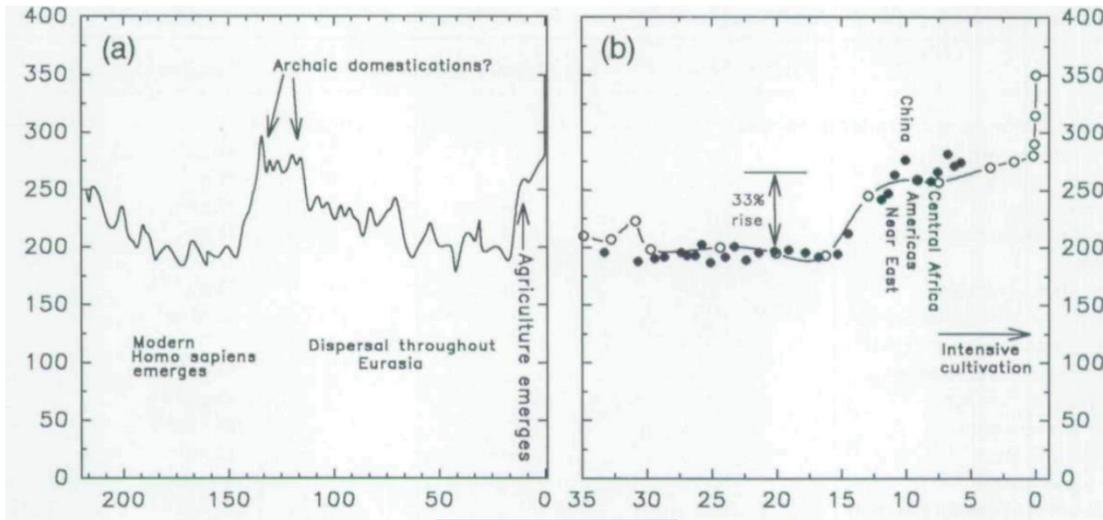


■ 農業の拡散

- 環境要因: ①間氷期の温暖で安定した気候、②二酸化炭素の増加
- 人口増加圧力: 世界人口、4百万人程度(1万年前)⇒2億～3億人(2000年前)
- 三大主要地域: 南西アジア、中国、メキシコ
 - 植物および動物の食材が多く、現代でも世界的な料理とされる: 地中海料理、中華料理、エスニック料理
- それ以外の地域: 南アメリカ、北アメリカ北東部、アフリカ(サブ・サハラ)、南アジア、パプア・ニューギニア

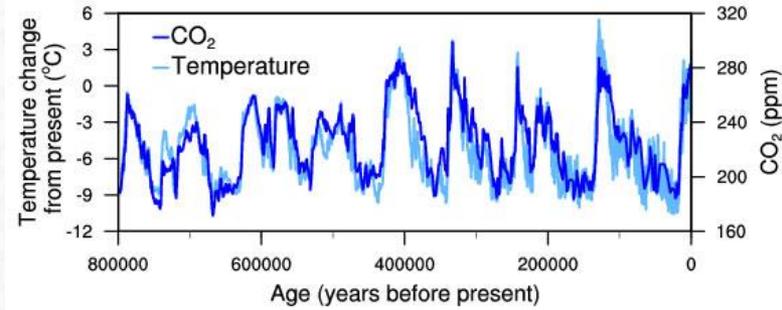
CO2濃度と植物の光合成

EPICA(2007)



単位: 千年

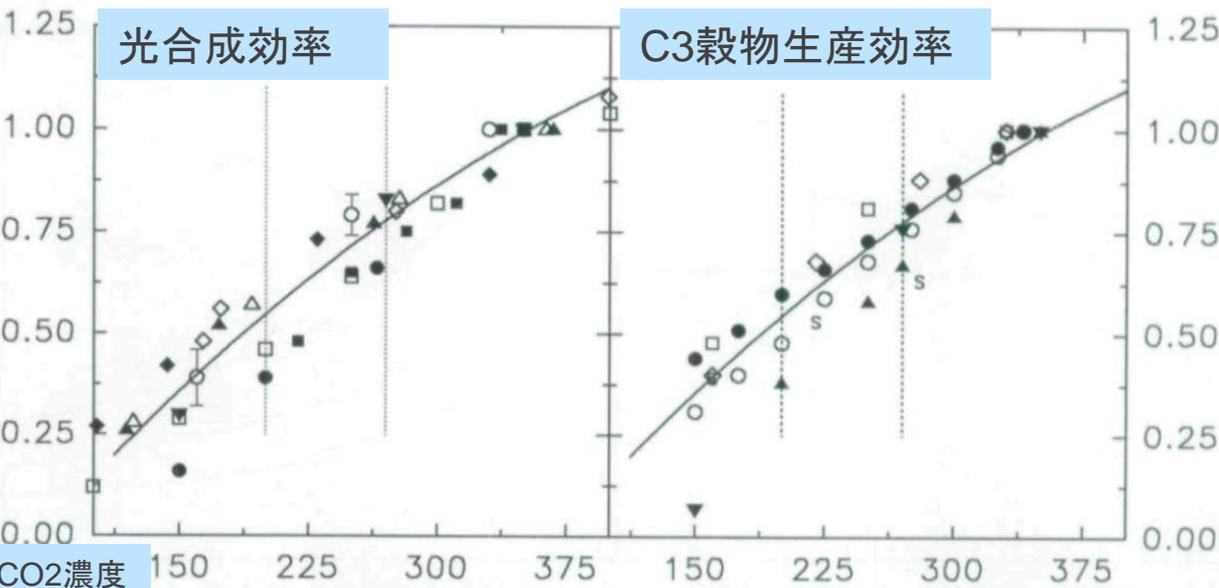
Sage(1995)



- 最終氷期から間氷期にかけて、気温の上昇によってCO2濃度は約33%増加した。

- 左図: 現在(350ppm)とCO2濃度別で生産効率したもの。

- 光合成の効率上昇、雑草(C4植物の雑草)との競争力増加、干ばつなどへの耐久力の向上等により、CO2濃度増加は農業に寄与してきた。



世界各地の農業と牧畜の歴史

完新世	千年前	南西アジア	南北アメリカ	中央・東アジア	アフリカ
グリーンランディアン	13		犬		
	12	犬			
	11	羊、山羊、ブタ エンマ小麦、ヒトツブコムギ、大 麦、小麦、エンドウ			
	10	ライ麦 猫	ヒョウタン カボチャ		
	9	牛 アマ(草)	トウガラシ アボガド、トウモロコシ	コメ	
ノースグリッピアン	8		リヤマ(アルパカ)	アワ、ヒョウタン 犬、ニワトリ	
	7	ナツメヤシ		シログワイ(根菜)、キ ビ、水牛	
	6	ブドウ、オリーブ ロバ	綿花	馬 ゼブウシ	パーム油
	5		ピーナッツ サツマイモ	タマネギ フタコブラクダ	ヤムイモ、ササゲ(豆) ロバ
メガラヤン	4	メロン、スイカ、リーキ、クルミ、 ヒトコブラクダ	モルモット キャッサバ(イモ類)	ガーリック	トウジンビエ 猫
	3		ジャガイモ 七面鳥		ソルガム(モロコシ)
	2		パイナップル タバコ		シコクビエ
	1				

 大きな気候変動
があったとされる画期

Jared Diamond (1987)

「農業は人類史上最大の過ち」

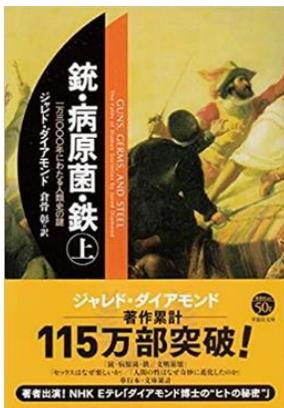
The Worst Mistake in the History of the Human Race

Jared Diamond

What we eat and how we eat are important both nutritionally and culturally. This selection suggests that how we get what we eat—through gathering and hunting versus agriculture, for example—has dramatic consequences. This seems pretty obvious. We all imagine what a struggle it must have been before the development of agriculture. We think of our ancestors spending their days searching for roots and berries to eat, or out at the crack of dawn, hunting wild animals. In fact, this was not quite the case. Nevertheless, isn't it really better simply to go to the refrigerator, open the door, and reach for a container of milk to pour into a bowl of flaked grain for your regular morning meal?

As you read this selection, ask yourself the following questions:

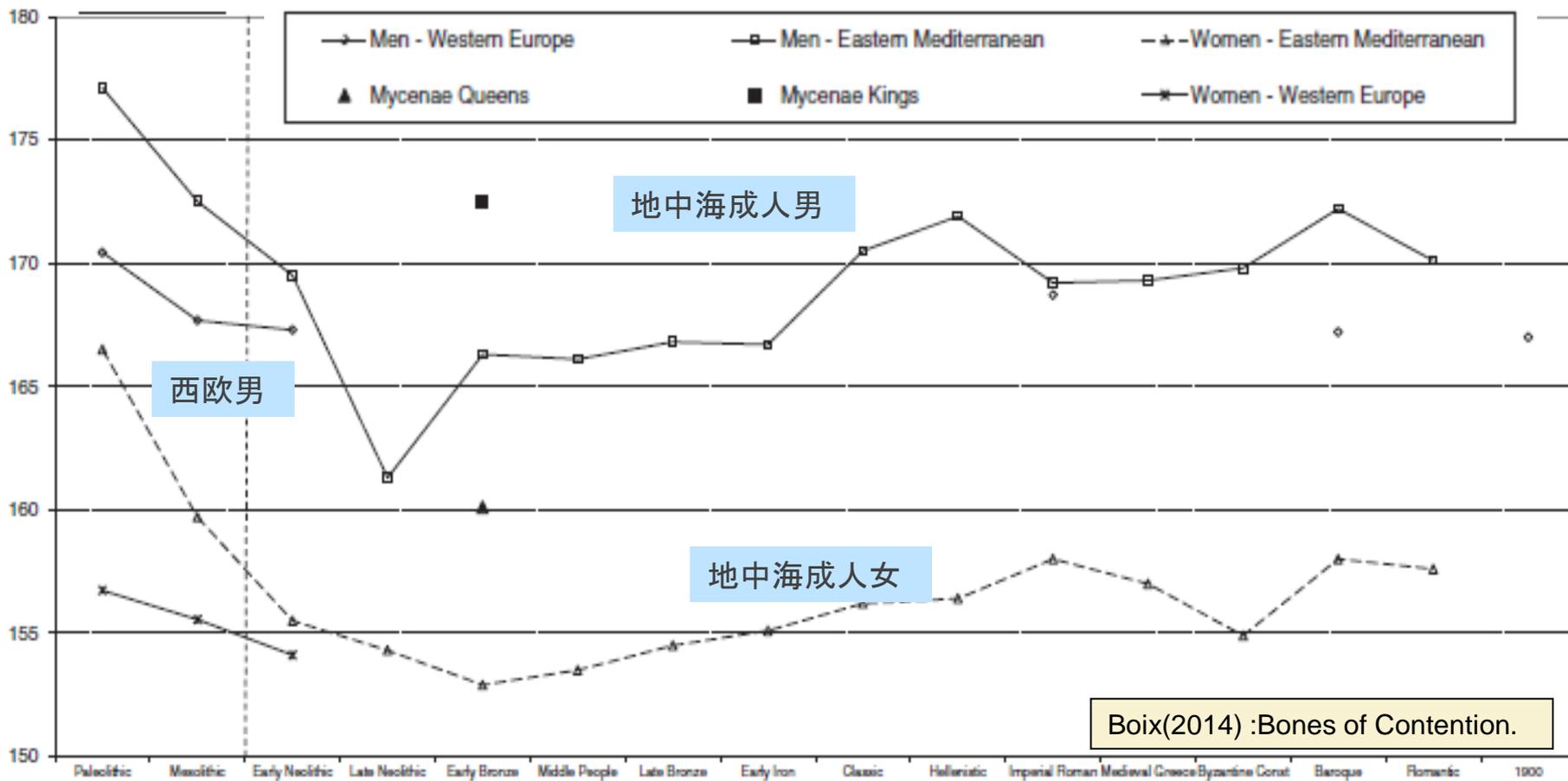
- What is the fundamental difference between the progressivist view and the revisionist interpretation?
- How did the development of agriculture affect people's health?
- What three reasons explain the changes brought about by the development of agriculture?
- How did the development of agriculture affect social equality, including gender equality?



↑この著者として有名

- 農耕民の健康状態が悪化
 - 栄養不足: 狩猟採集民は多様な食糧を得ていた。農耕民は栄養は少ないが簡単に手に入るカロリーの食糧を得た。
 - 凶作による飢饉: 限られた農耕作物の生産量に頼っていたゆえ、凶作・不作になれば飢饉に陥る危険をはらんでいた。
 - 疫病: 農業社会では、人々が密集して居住するようになる。これにより、寄生虫や疫病が広がった。
 - 例: 結核は農耕の開始とともに発生しており、大都市化によってペストが流行するようになる。

ヨーロッパ人の身長推移 旧石器時代からローマ時代まで



旧・中石器時代

新石器時代

青銅器時代

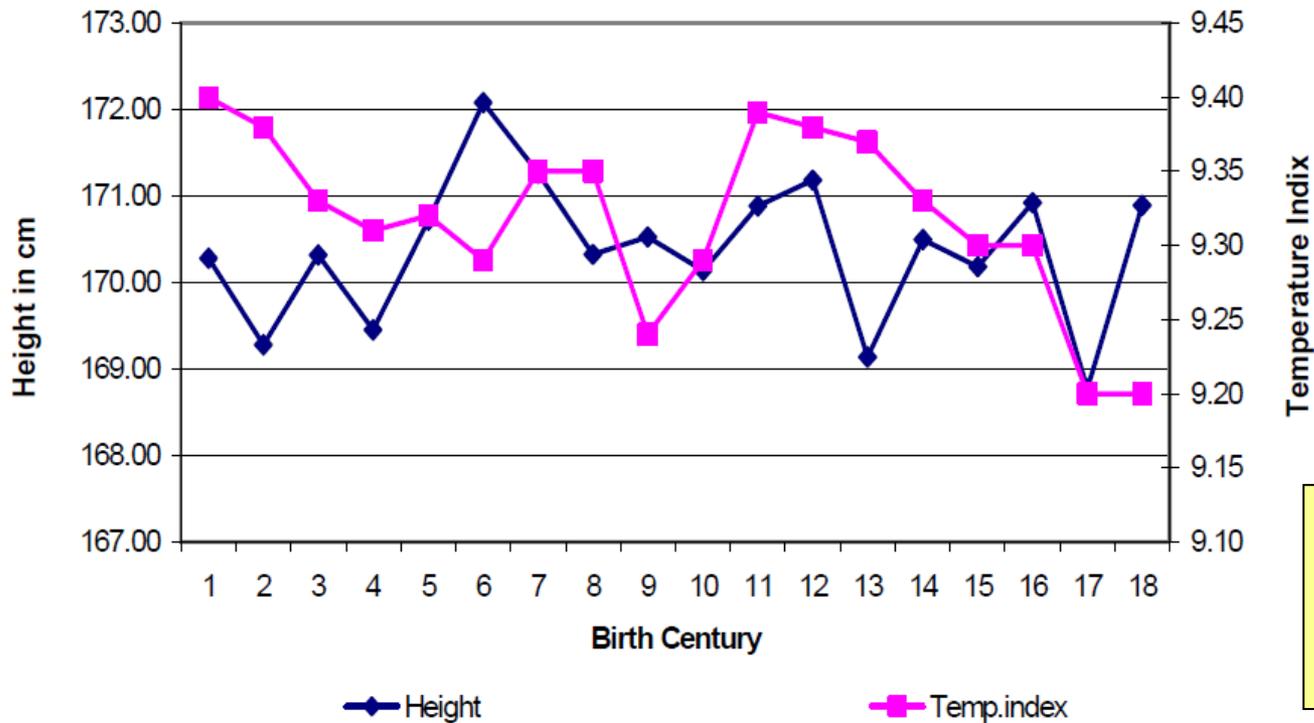
鉄器・ヘレニズム

古代・ビザンツ・バロック

19・20世紀

- 旧石器時代ほど身長が高い。青銅器時代初期がもっとも低い。
- 鉄器時代から身長がやや増加するが、古代にピークアウト。

西欧の成人男子の平均身長推移 (気温との関係はあるのか?)



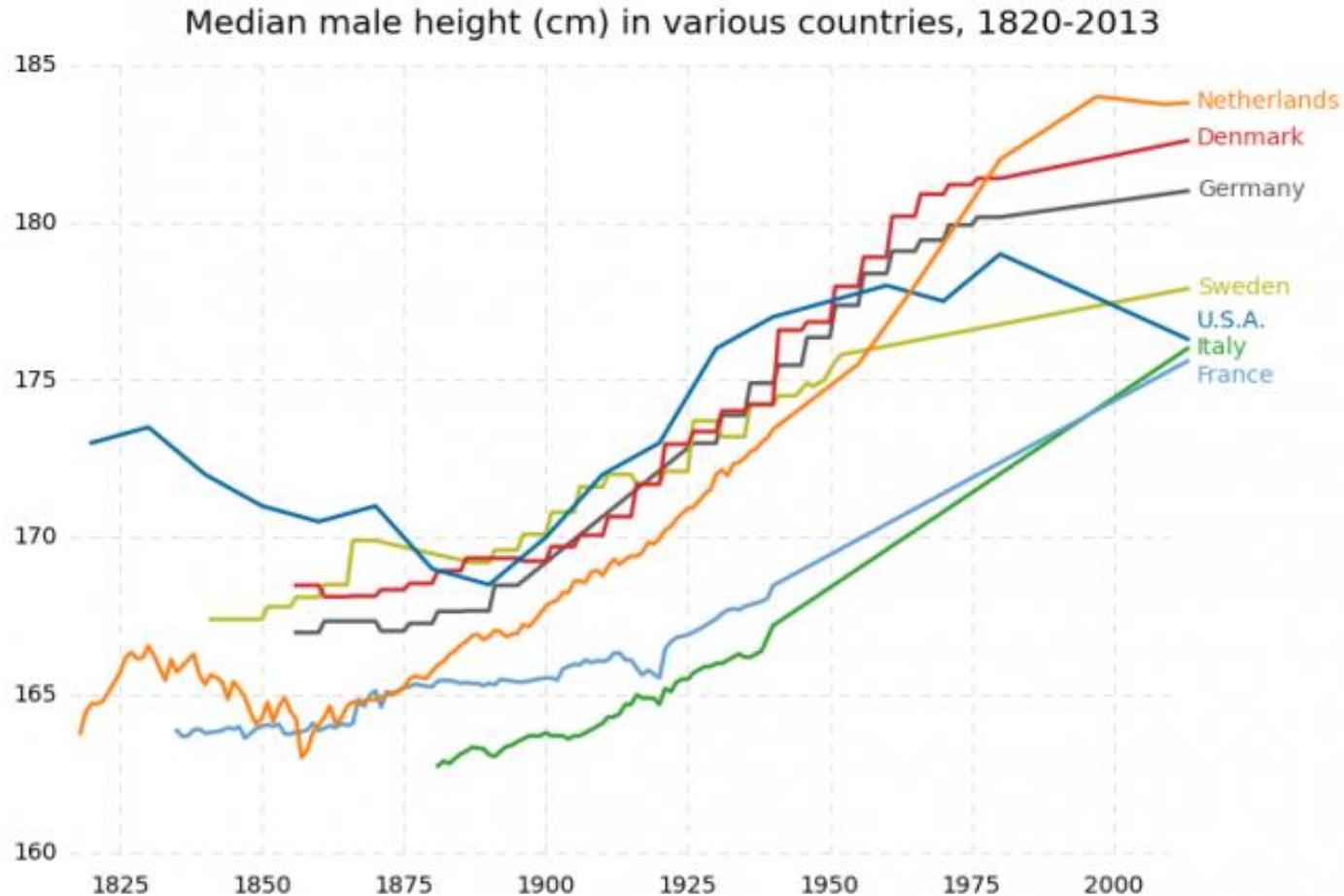
右目盛: 気温インデックス=アルプス氷河の動きと年輪による推計

Koepke and Baten (2003)
The biological standard of living in Europe during the last two millennia

- 「温暖な気候は農業の生産高を高め、人間の健康に寄与するか」という論点。
- 13世紀および16～17世紀の気温低下(気候要因)は農業の不作・凶作を招き、身長を低くした要因との見方も成り立つ。
- 一方で、6世紀を中心とした身長の伸びは、気温(気候要因)では説明がつかない。「何を食べていたか」という観点も出てくる。

欧米人が高身長になるのは、産業革命以降

- 経済が発展し、栄養状態が向上してから。
- アジア(含む日本)でも、100年遅れて同じ傾向をたどっている。



Sources: dx.doi.org/10.6084/m9.figshare.1066523 | Author: Randy Olson (randalolson.com / [@randal_olson](https://twitter.com/randal_olson))

日本人の身長推移

長岡(2008)ほか

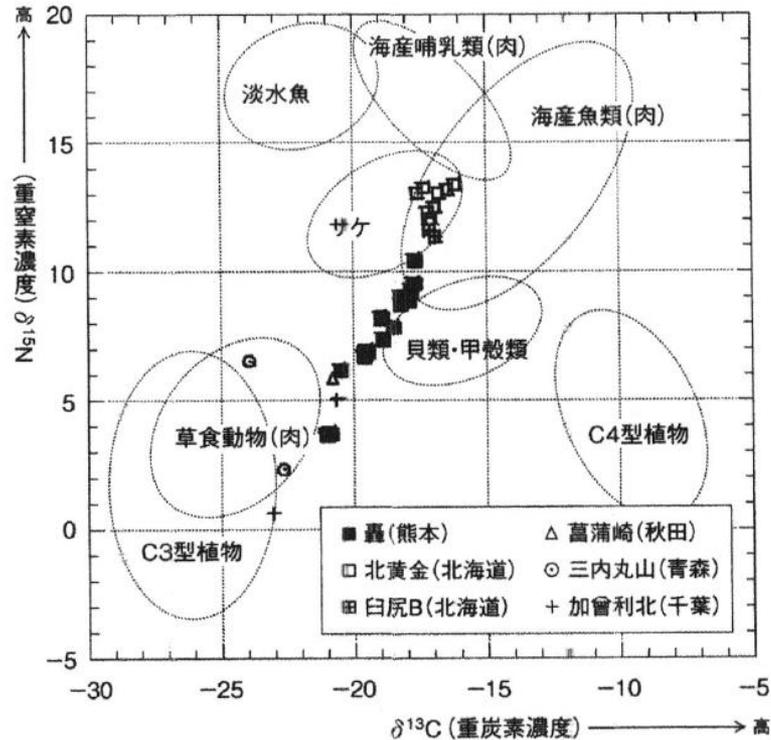
	時期	地域	男性成人平均	成人女性平均
縄文	18000年前	沖縄・本島	153.0	144.0
	BC5000-BC400	関東	159.1	147.3
弥生	BC400BC-AD300	関東	161.4	148.1
古墳	400-800	関東	163.1	150.8
鎌倉	1333	関東	159.0	151.5
室町	1338-1573	関東	156.8	144.9
	1300-1400	関東・由比ガ浜南	157.8	147.3
江戸	1603-1867	関東	157.1	145.9
		京都・伏見	158.0	144.0
近代	1900	関東	155.3	144.8
現代	2007	全国平均	171.4	158.0

- 縄文時代の身長は、室町時代から近代にかけてよりも高かった。
- 弥生・古墳時代に身長が伸びた。近世までにおいて、最も身長が高かった。
- 鎌倉時代から低下が始まる。
 - 仏教での動物食禁止。人口増加で一人当たりの食料が減った(?)
- 室町時代から江戸時代・近世にかけて、低身長の時代が続いた。

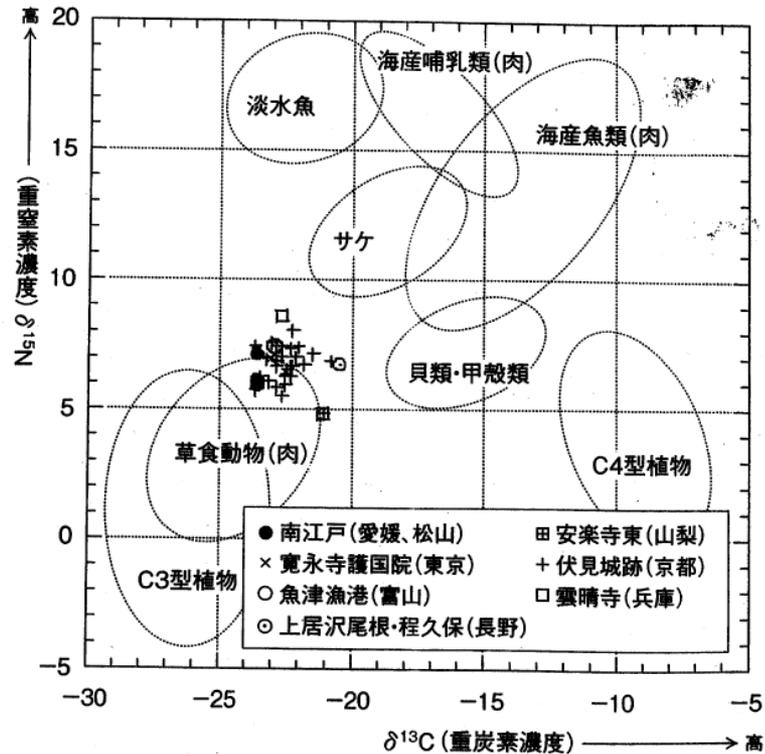
日本人の食べ物の変化

人骨に含まれる窒素同位体比率でわかる

骨から復元した総利用食物の同位体比 (縄文時代早期~中期)



江戸時代の食性

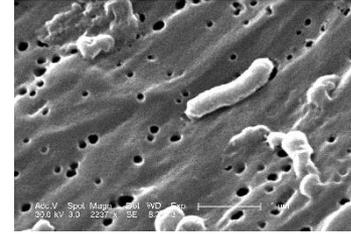
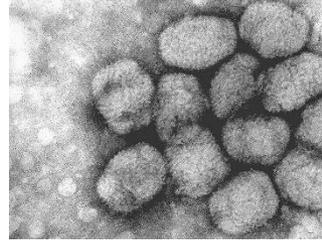
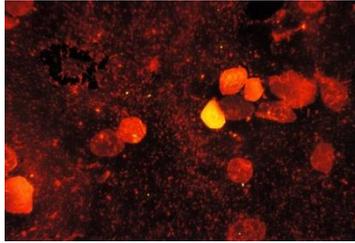
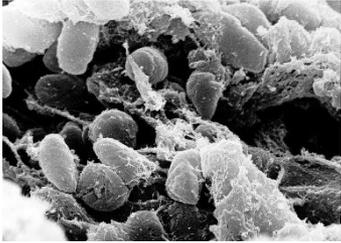


南川雅男(2014): 日本人の食性.

江戸時代の食生活は、一部に「雑穀」を利用していた個体や集団が認められるものの、全国的に、土族も町人もほとんど均一な食性だった。

- 江戸時代: 動物タンパク質はおもに干物や塩漬けの魚介類によっていた。
- 仏教上の禁忌から、四足動物の肉食に対する穢れの感情があった。
- 江戸時代の人々のタンパク源となったのは、穀類やマメなどの植物資源が中心。

感染症の歴史



感染症名	人類罹患起源	最初の感染源	最初の感染と文明	感染経路	文化的側面
ペスト	6000～5000年前 ユーラシア大陸北部	馬	馬の家畜化	飛沫・接触	長距離交易、戦争、都市化
結核	4000年前 東アフリカ	牛	牧畜生活	飛沫	長距離交易、都市化
天然痘	3000年前 エジプト(ラムセス2世)	スイギュウ	農業	飛沫・接触	長距離交易、戦争、都市化
コレラ	1500年前 ガンジス川河口	水産物	淡水魚類の漁労	糞便、経口感染	領土拡大、都市化
新型コロナウイルス	2019年12月 中国?	コウモリ?	野生動物取引?	飛沫	極端な都市化 グローバル化

Green(2020):Emerging diseases, re-emerging histories.

Ⅱ-2. 農業の発展（メソポタミアの場合）

天水農業⇒氾濫農法⇒灌漑農業

(Rainfed Agriculture Reccessional Agriculture Irrigation Agriculture)



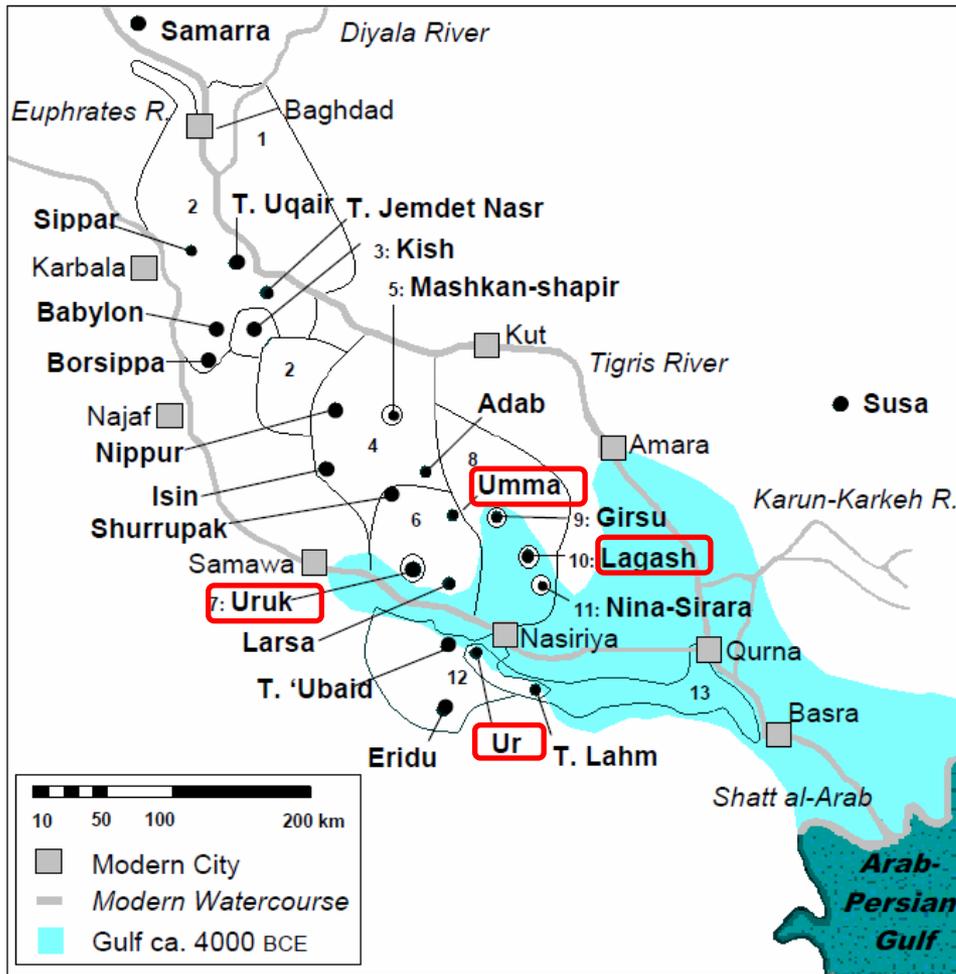
チグリス・ユーフラテス川中流域に主要都市が形成



- ウバイド期: 8500年前頃～5800年前頃
- ウルク期: 6000年前頃～5100年前頃
- 初期王朝時代: 4900年前頃～4335年前
- アッカド期: 4334年前～4193年前



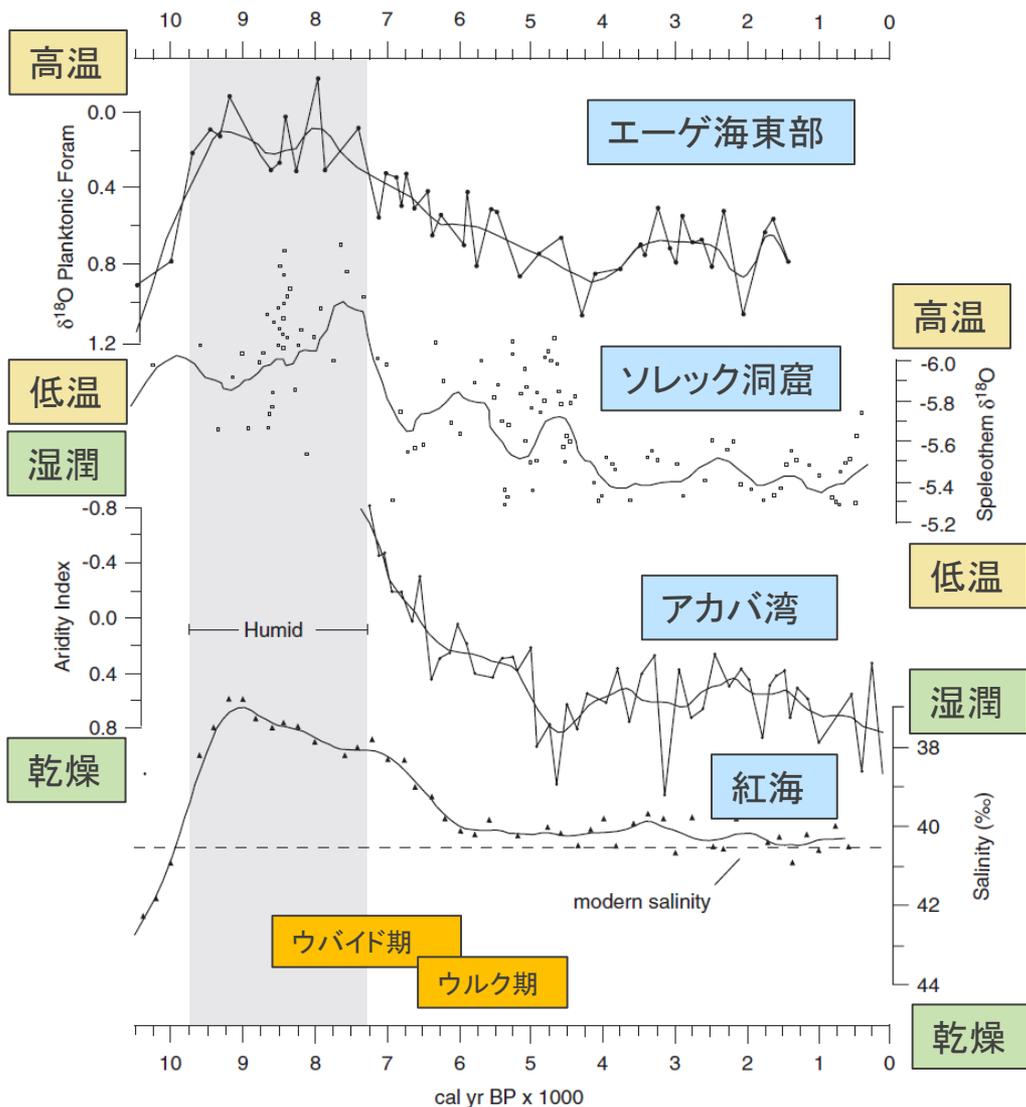
チグリス・ユーフラテス川中流 湿地帯での氾濫農耕



- 天水農業を行うには、年間降水量250ミリ以上が必要であった。適地は限られていた。
- 6000年前頃のアラビア湾海岸線
 - シャットウルアラブ川を越え、現在のチグリス・ユーフラテス川中流まで海進していた。
- ウルク、ウル、ラガシュ、ウンマといったメソポタミアの古代都市は、アラビア湾に面していた。
- これらの地では、ナイル川流域と同様に氾濫農法による農業が行われていた。

Pournelle (2003): Marshland of Cities: Deltaic Landscapes and the Evolution of Early Mesopotamian Civilization

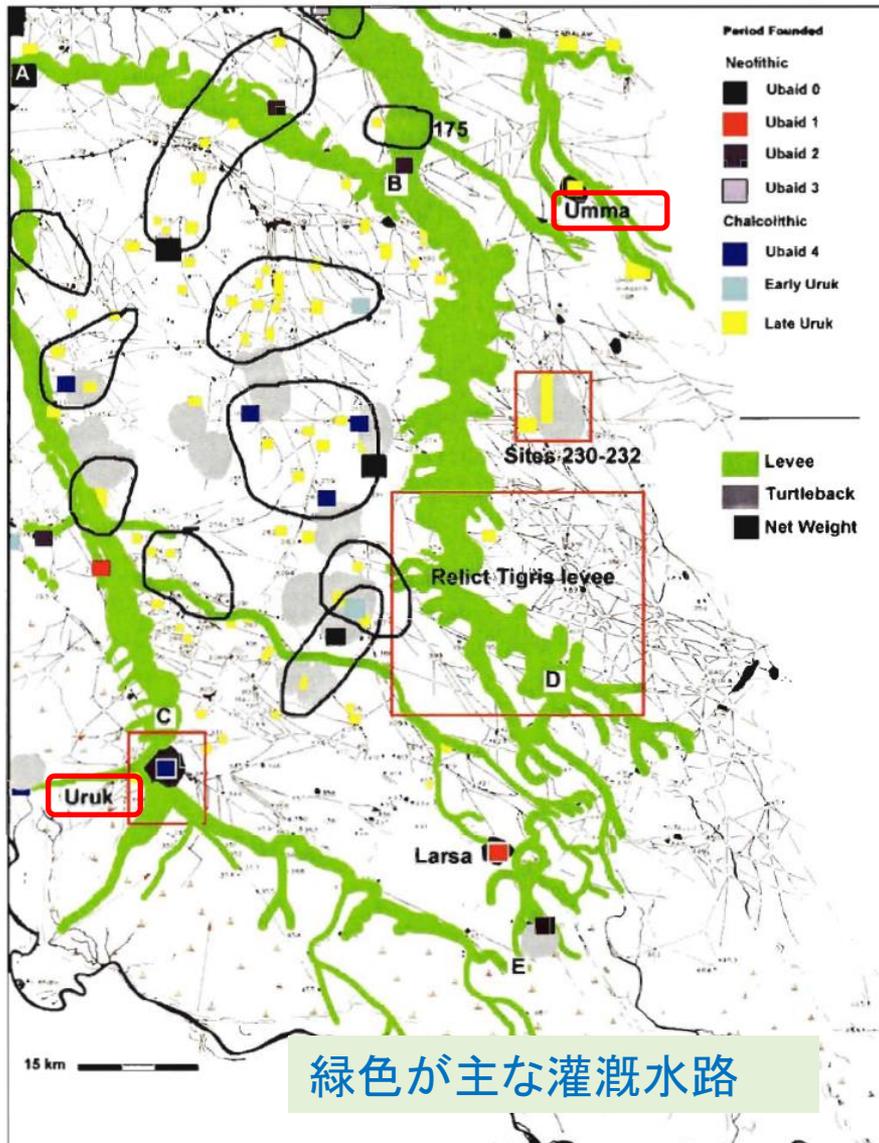
メソポタミア南部の気候の乾燥化



- エーゲ海南東部やイスラエルのソレック洞窟の酸素同位体 (^{18}O 比率)、アカバ湾の海底コアの砂塵、死海の塩分濃度から、7000年前以降に、気候が乾燥化・低温化していったことを示す。
- 特に6000年前頃の乾燥化が進んだ時期に、ウバイド期からウルク期に移行した。

Kennette (2006): Influence of Holocene marine transgression and climate change on cultural evolution in southern Mesopotamia.

灌漑農業の拡大



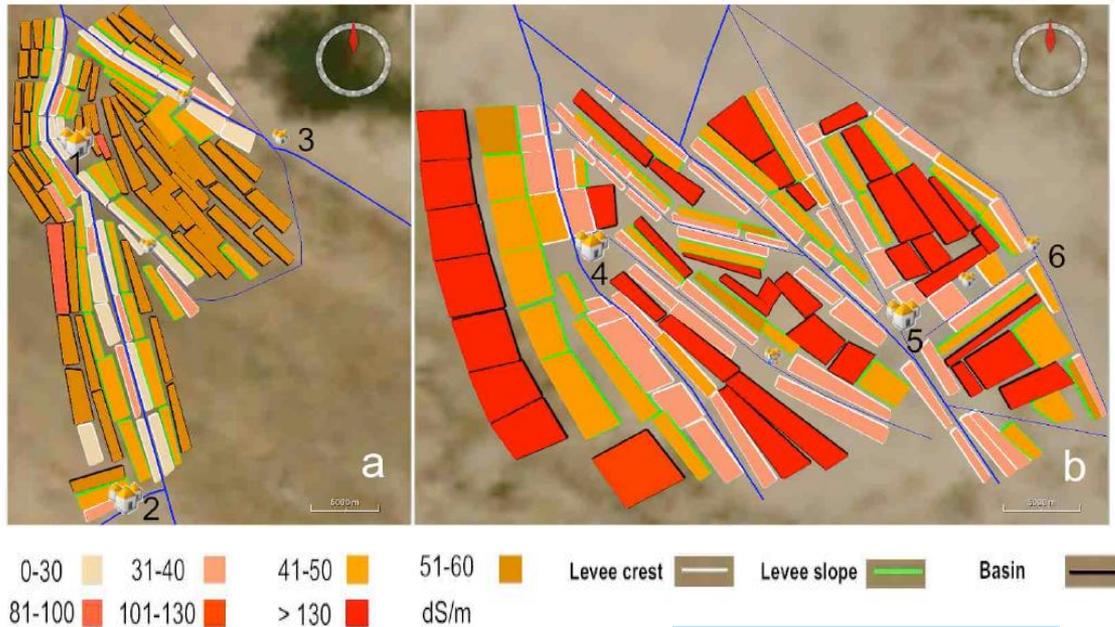
- 乾燥の進展
 - 広大な湿地帯の地形が変化し、水辺は主流の河川に限られていく。
 - 氾濫農法を実施できる農地が縮小。
 - 川の周辺に人々が集中する。
- 氾濫農法から灌漑農業へ
 - 灌漑設備の維持管理の重要度がさらに増した。
 - 氾濫農法では、自然の堤防を少し崩すだけで、水を引くことができた。
- 国家の形成
 - 支配層が統治する階級社会。
 - 最古の楔形文字が刻まれた粘土板。
 - ウルクには6km²の土地に5万～8万人が住み着き、巨大神殿が造営される

Pournelle (2003): The Littoral Foundations of The Uruk State.

メソポタミアの灌漑農業の弱点

土壌の塩化シミュレーション

200年後の塩分濃度を電気伝導度で示したもの
ナイプール(左) ウルク(右)

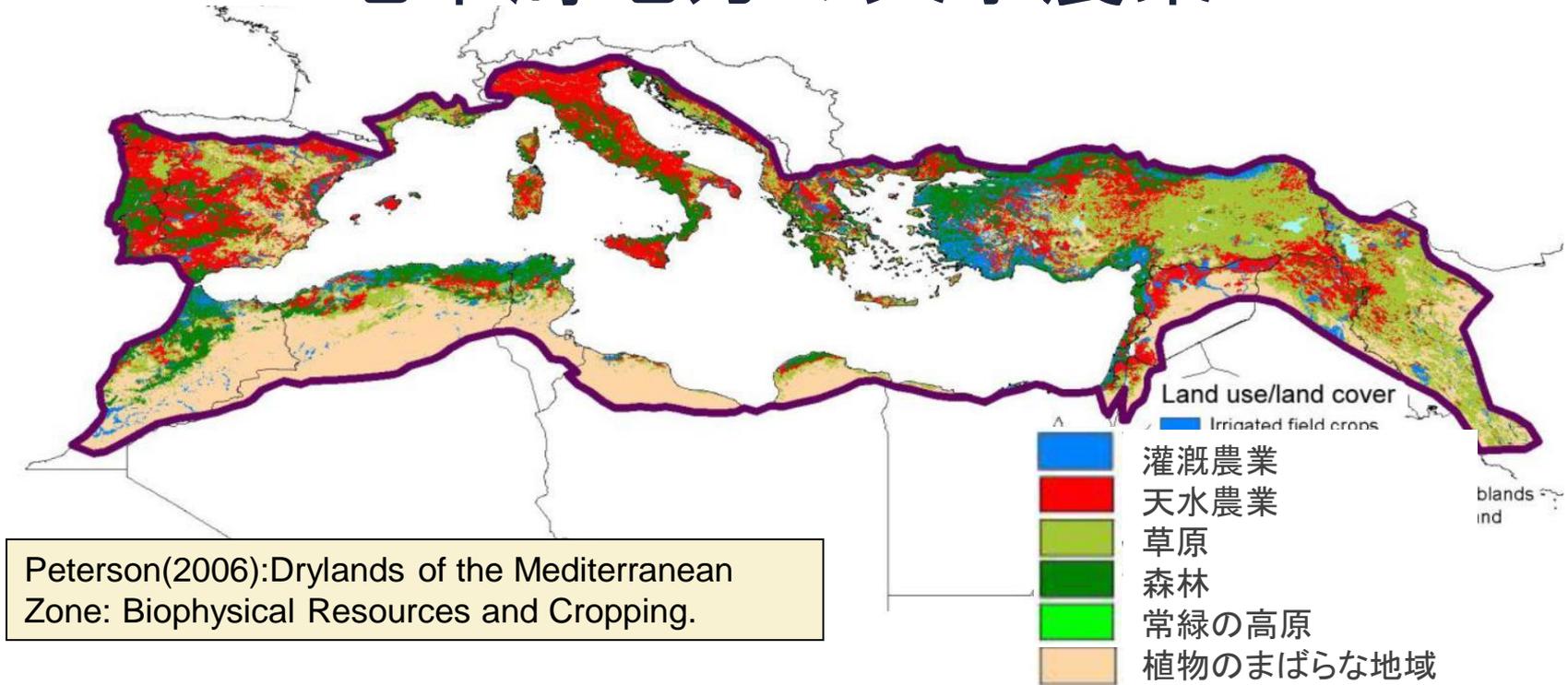


河川水: 1dS/m未満
海水: 20~50dS/m

Altaweel (2013): Simulating the Effects of Salinization on
Irrigation Agriculture in Southern Mesopotamia

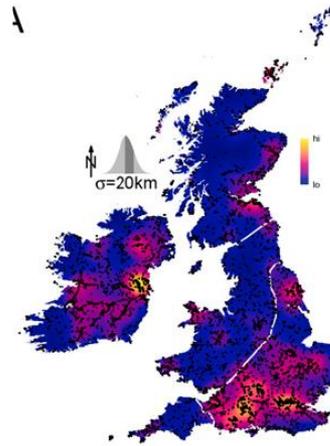
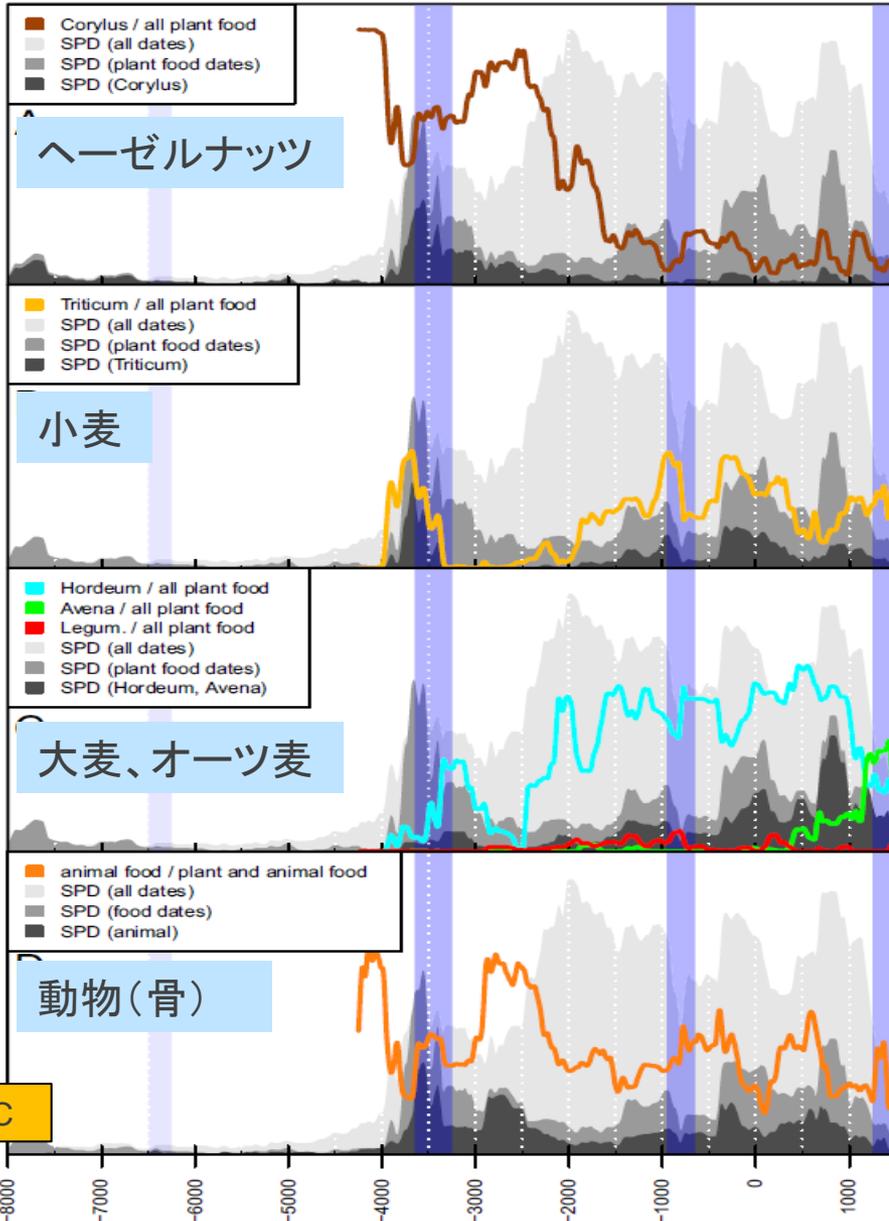
- 灌漑設備には塩害の可能性が付きまとう
- 土壌の塩化
 - 降水の塩分、灌漑用水での水分蒸発と塩分沈殿。
 - メソポタミア南部では、小麦よりも塩害に強い大麦の栽培が増加。BC2500年までに小麦の栽培は全作物の15%に低下。
 - ウル第3王朝になるとエンマ麦さえ、実らなくなる。
- 塩害の影響を受けない農法は、天水農業と氾濫農耕。
 - エジプトでは、1970年のアスワン・ハイ・ダム完成後、ナイル川下流で塩害が発生するようになった。

地中海地方の天水農業



- 灌漑農業が、天水農業と比較して「高度な技術」というわけでもない。それぞれ環境に適合した農業を営んでいる。
- 地中海沿岸地域では、現在でも天水農業(赤)の地域が多い。灌漑農業(青)はごくわずか。
- 地中海沿岸の農業は長い歴史の中で、塩害とは無縁だった。
- 古代ギリシアでは、環境問題として森林伐採による土壌流出が深刻になる。

ブリテン島とアイルランドでの気候変動と農業



薄紫のシャドーは寒冷期

- ・5500年前頃
- ・2800年前頃
- ・400年前頃(小氷期)

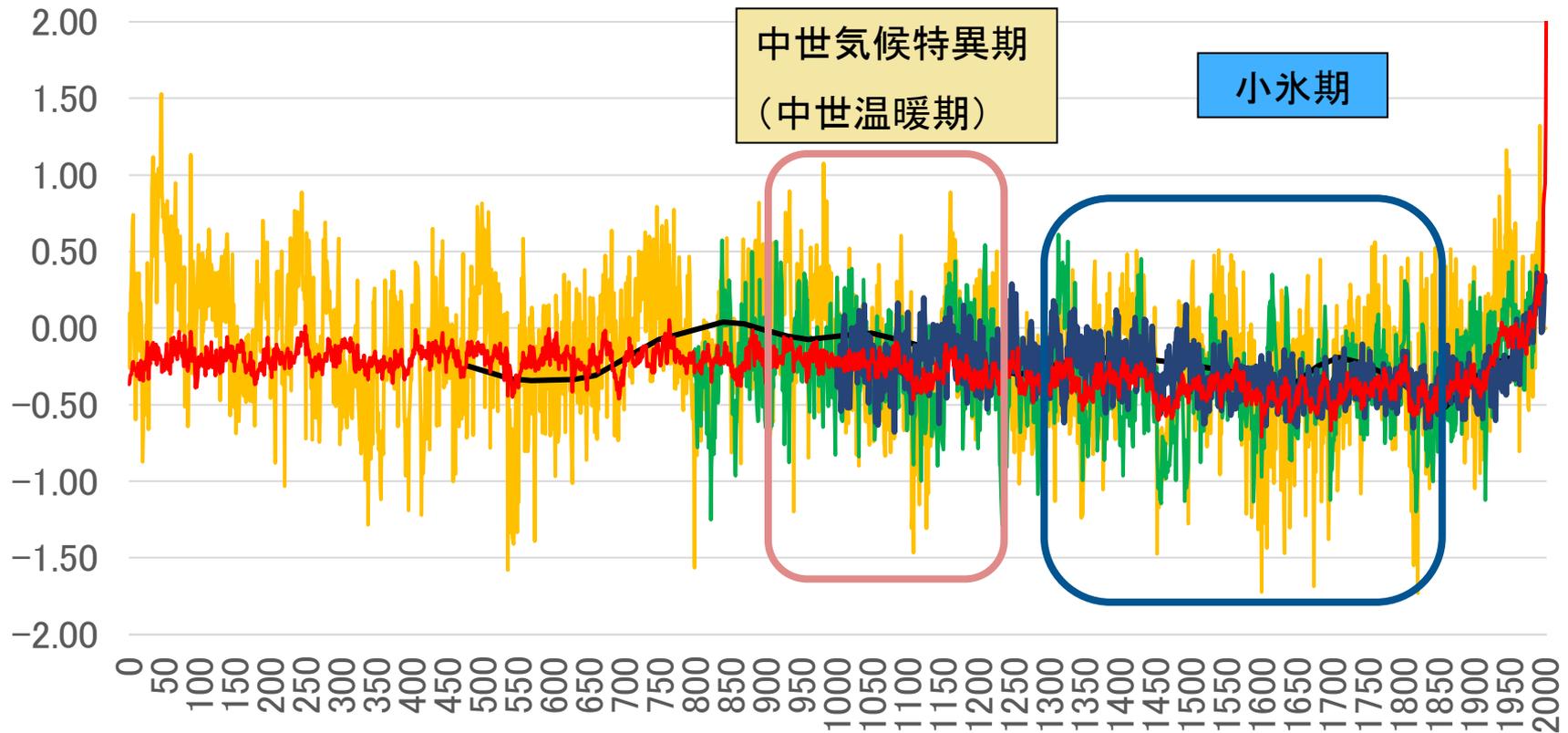
- 遺跡からの出土物で、気候による食生活の変化の跡を見つける。
- 気候が温暖化すると、大陸から移住者により人口が増加傾向になり、小麦・大麦が増えた。
- 気候が乾燥化・寒冷化すると、遺跡から、ヘーゼルナッツと動物が増加し、小麦・大麦が減少する。
- 気候変動により、狩猟採集生活と農耕生活が繰り返された。

Bevan et al (2017)

°C: 1960~1990年の
平均からの偏差

Ⅱ-3. 農業の革新 小氷期という寒冷な時代

2003年:
2.26°C

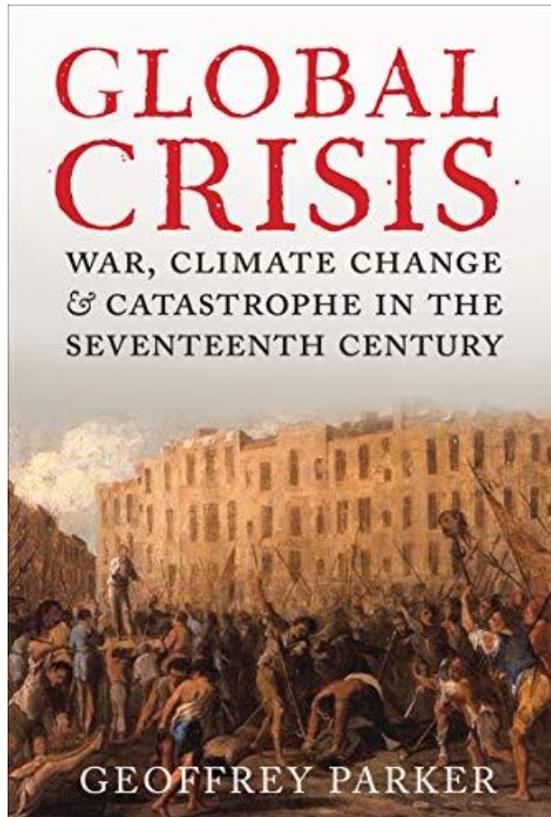


— ヨーロッパ — アジア — 北米(花粉) — オーストラリア — 全球

PAGES2K

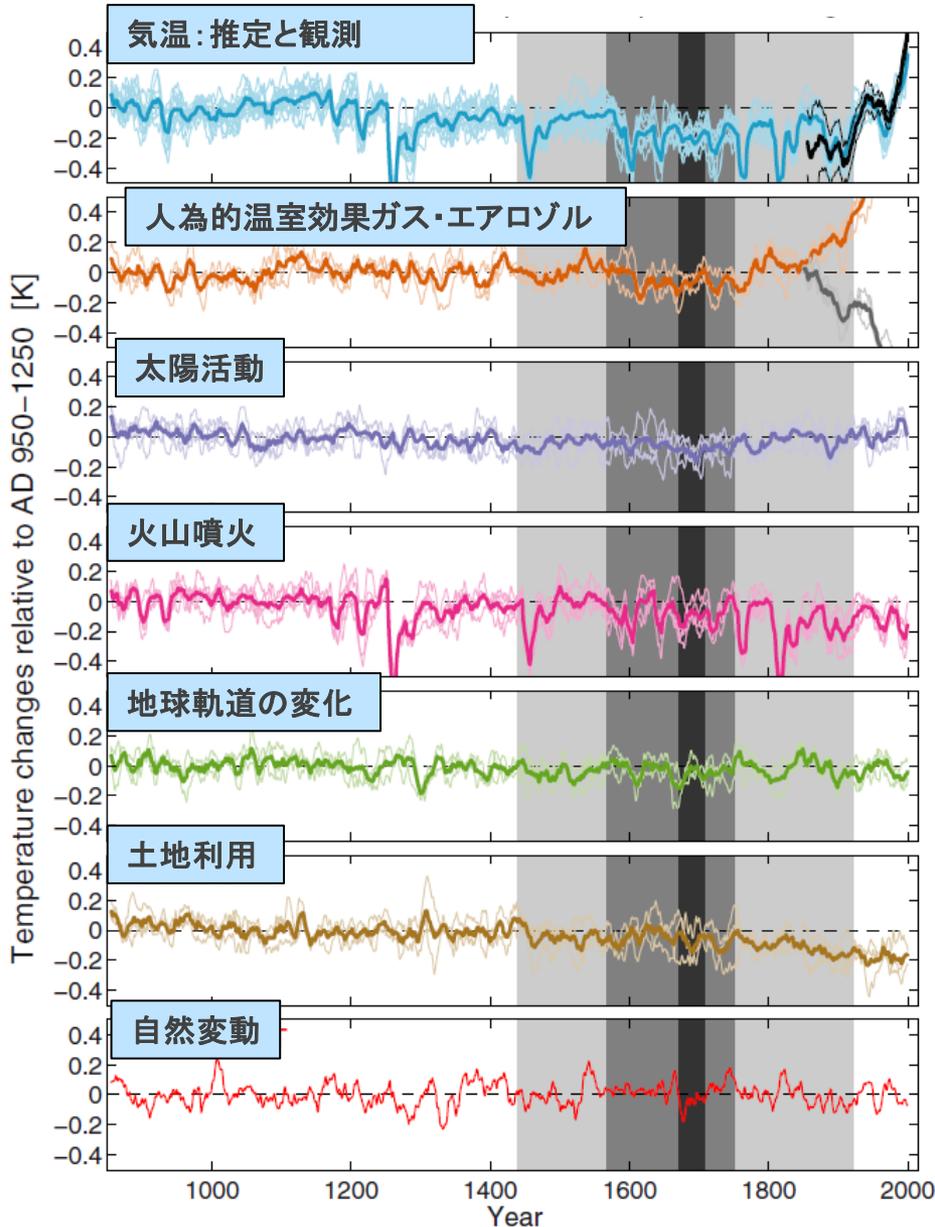
- 樹木年輪、鍾乳石、海底コアなどの結果を総合的に集めたもの。
- 中世気候特異期 Medieval Climate Anomaly (中世温暖期): 950年頃~1250年頃
- 小氷期 Little Ice Age: 1300年頃~1880年頃

「17世紀の危機」: 小氷期の最寒期



- ジェフリー・パーカー: イギリス出身に歴史学者
 - 2013年、Yale University Pressから出版。
- (要旨)
- 1610年代から1709年初頭にかけて、全般的に気温が低下し、気候変動が大きくなった。
 - 原因: 太陽活動の弱化、火山噴火の活発化、エルニーニョ現象の頻度増加
 - 飢饉が発生し、数百万人が飢えた。
 - 戦争や内乱が増加した。
 - ユーラシア大陸(ヨーロッパならびに中国)で、人口の1/3が減少した。
 - 人口減少の要因として、疫病(黒死病)の発生もあった。

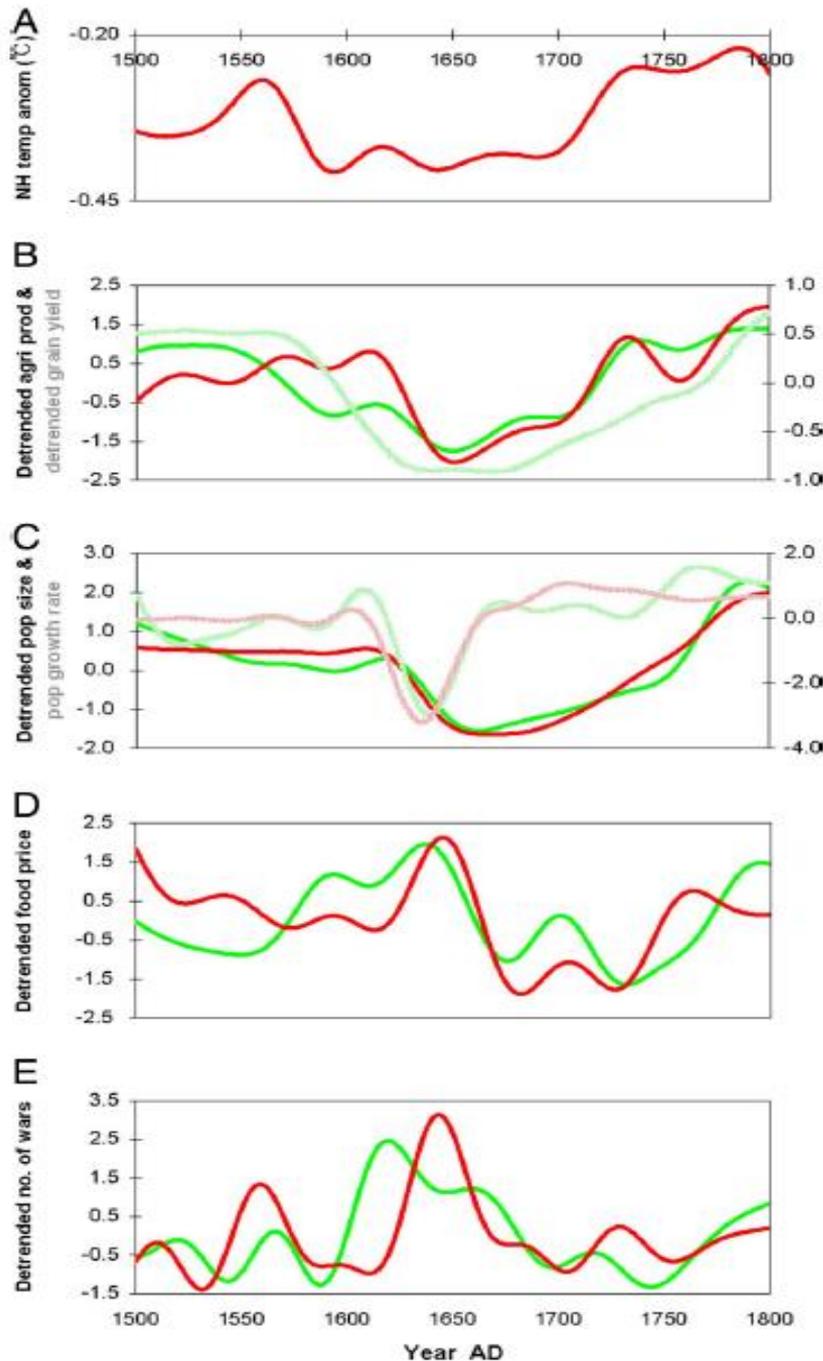
コンピュータシミュレーションによる要因分析



- 気温: 観測および代替資料での復元
- 気候変動の要因
 - 人為的要因: 温室効果ガス・オゾン・エアロゾル
 - 太陽活動の変化
 - 火山噴火の影響
 - 地球軌道の要因
 - 土地の利用: 森林の開墾により、緑色の森は薄茶の畑となり、太陽光をより多く宇宙へと反射する。
 - 内部変動の要因: エルニーニョ現象など
- 17世紀後半の気温低下の要因は、①火山噴火の多発、②太陽活動の弱化、③土地利用の進展。

Owen et al (2017)

気温低下と食料生産・食料価格の定量分析



A:小氷期での北半球平均気温の推移
(1960~1990年平均からの偏差)

B:農産物生産高(緑:ヨーロッパ、赤:中国)、単位面積当たり生産高(緑ドット:ヨーロッパ)

C:人口の変化(緑:ヨーロッパ、赤:中国)、人口増加率(緑ドット:ヨーロッパ)

D:食料価格(緑:ヨーロッパ、赤:中国)

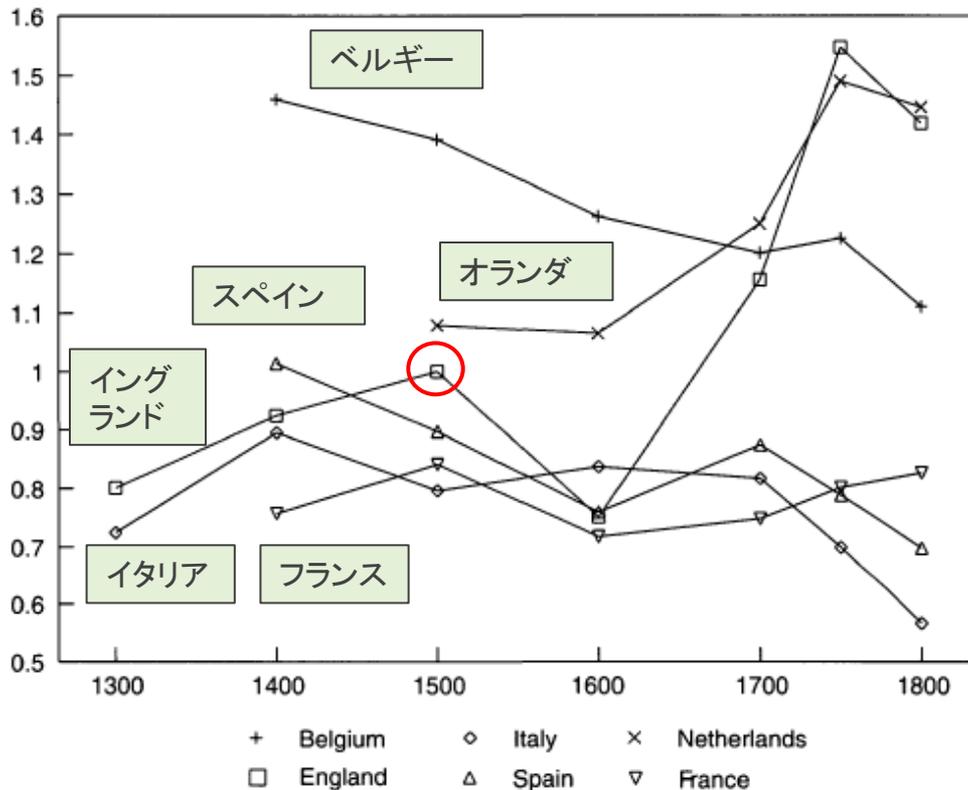
E:戦争の数(緑:ヨーロッパ、赤:中国)

▪ BからEは、変化の触れ幅を正規化した数値。

Zhang et al (2007) Global climate change, war, and population decline in recent human history.

イギリスを中心とする農業革命

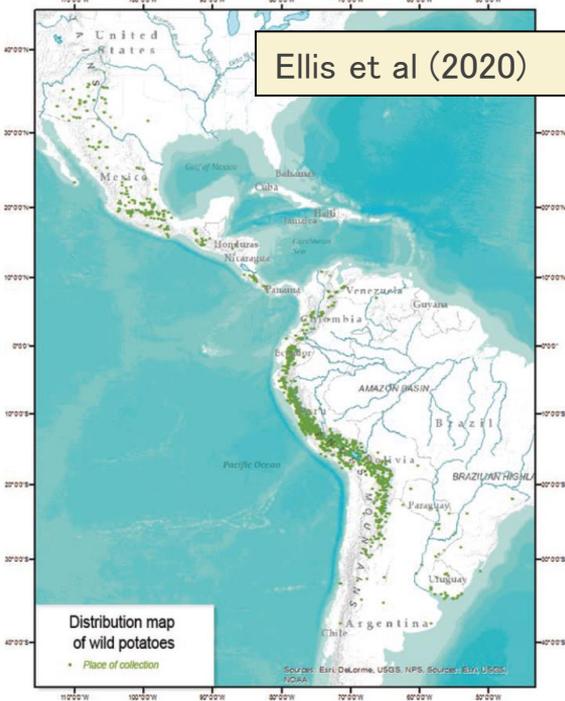
農業従事者一人あたりの農業生産性
1500年のイングランド=1.0



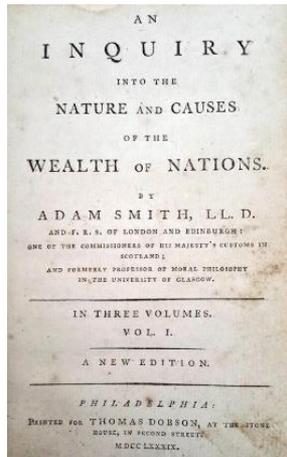
Allen(2000): Economic structure and agricultural productivity in Europe, 1300-1800.

- 小氷期を生き延びる技術革新。
- 17世紀から18世紀にかけて、農業生産性が大幅に向上。
- 代表的な技術革新
 - ノーフォーク型輪作:カブ→オオムギ→クローバー→コムギ
 - 囲い込み:農業の高度集約化
 - 取引市場の数増大。
- ただし、農業革命の恩恵を受けた国は、イングランド、オランダなど一部に限られる。
 - この時代の農業革命は、欧州全体というフレームでは、過大評価かもしれない。

ジャガイモの原産地とヨーロッパ北部

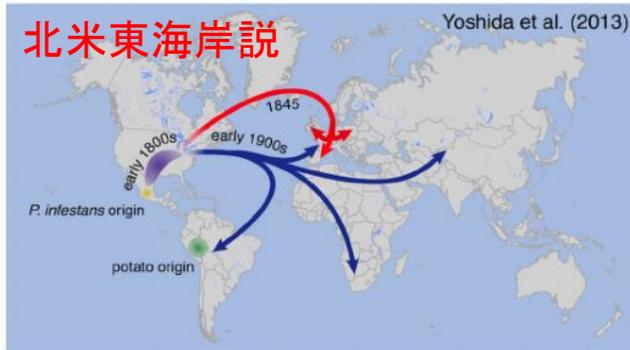
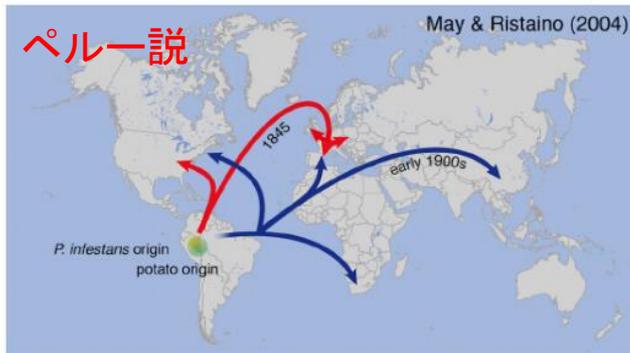


- ジャガイモはナス科の多年草。原産地はアンデス等。
- 6世紀頃、先住民のインディオが栽培化。品種改良が進み、スペイン人が訪れた際に300種類以上。
- セビリアの病院食として用いられたものの、奇妙な形をしていることで、うつ病を起こす植物と噂され、「悪魔のリンゴ」とさえ言われた。
- ところが、ジャガイモの原産地であるアンデス高原は寒冷湿潤であり、同じような気候であったヨーロッパの北部・中部で栽培に適していた。
- 1690年代の飢饉の時代から、アイルランドやスコットランドでジャガイモ栽培は普及。
- アダム・スミス『国富論』(1776年)第1篇11章
 - ジャガイモについて、アイルランドを例に挙げ、「より多くの労働者を養い、男をより強くし、女をより美しくする」とその効用を説いた。



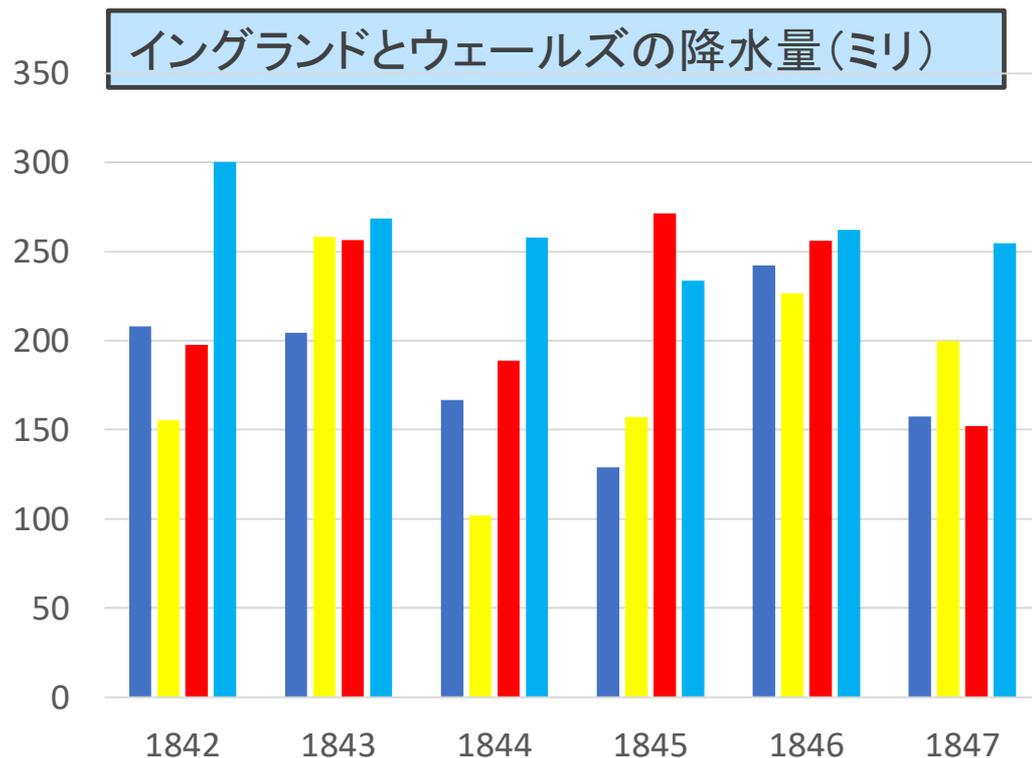
グローバル化の中で多様性を失うマイナス面

アイルランドのジャガイモ飢饉 (1845～1849年)



- ジャガイモ疫病菌はヨーロッパの広い地域で流行(アイルランドだけではなかった)。
 - ジャガイモの種は収穫量の多い品種に特化していたため、遺伝的多様性が失われ、疫病への耐久性が弱化。
- 一方、アイルランドの農業はジャガイモの単一栽培に特化。国民の1/3はジャガイモだけで生存している状況。
- **二つの多様性の喪失**
 - ジャガイモを収穫量の多い品種へと特化
 - 単一栽培を広げたアイルランドの農業(グローバル化の中でのサプライチェーンの単純化)
- アイルランドにとってジャガイモは輸出産物⇒飢饉の最中でも他国へ輸出され続けた。

1845年夏の気候：低温・湿潤



イギリス気象庁HP

各年それぞれ左から、冬(12月~2月)、春(3月~5月)、夏(6月~8月)、秋(9月~11月)

- 1845年7月、アイルランドは上旬こそ常ならぬ高い気温であったものの、下旬になると低温へと代わり、8月に入っても同様に日照時間も少なく、低温で湿度が高い日が続いた。
- この湿潤な天候が疫病菌の広がる素地となった。
- 8月中旬にイングランド南西部、9月中旬にはブリテン島全域とアイルランド東部、10月にはアイルランド全域に蔓延していった。

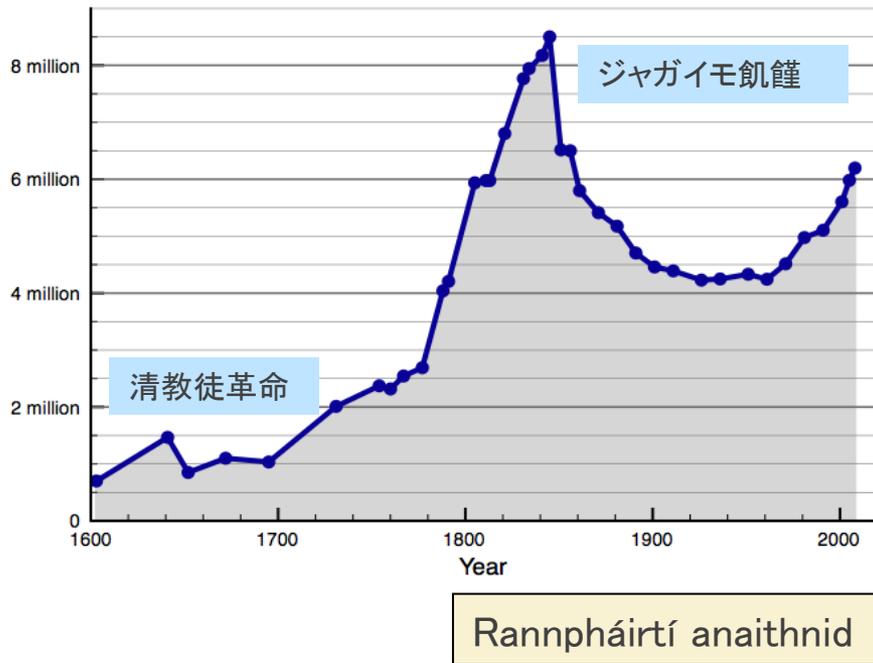
ジャガイモ栽培の推移

	作付面積 単位： 万ha	収穫量総額 単位： 百万トン	収穫量 (1haあたり) 単位：トン	価格 1840=1	人口 単位：万人	移民者数
1840	84.8	12.6	14.9	1	820	30,000以下
1845	84.8	8.4	9.9	1.2-1.5	850	61,000
1846	68.7	2.6	3.7	3.25	不明	106,000
1847	12.1	2.2	17.8	2-2.25	不明	200,000
1848	32.3	3.1	9.7	2以下	不明	178,000
1851	不明		不明	2以下	650	250,000

出典： Scholthof, Karen-Beth G. (2007)

- ジャガイモの作付面積をみると、飢饉初年の1845年は1840年と変わらず、約85万ha。一方、収穫量をみると1840年は1260万トンであったに対し、1845年に840万トンに減少。そして、1846年に260万トン、1847年に220万トンと激減。
- 1haあたりの収穫量：1840年が14.9トン⇒1845年が9.9トン、1846年が3.7トン
- 通常、1haあたり約2トンを生イモとして植えていた。しかし、1846年に極めて低い収穫量となり、翌年の栽培に残すための種イモまで消費してしまった。
 - このため1847年の作付面積は、わずか12万haと飢饉以前のおよそ1/4程度。
- 大飢饉としてもっとも深刻になったのが、1846年と1847年。

アイルランド島の人口推移



ケネディ家の始祖はアイルランド北東部ウェックスフォード県の農民だった。1849年にジャガイモ飢饉に耐えかねてボストンへと移民した。
JFKはカトリック教徒で最初の米大統領。

・ヨーロッパの人口

- 1750年代はおよそ1億8000万人、現在ではおよそ7億2000万人と約4倍に増加。

・アイルランド島(含む英国連邦北アイルランド)の人口

- 1750年代に300万人を超え1841年の人口統計では、817万人であった。
- しかし、ジャガイモ飢饉で激減し、2001年においても、560万人となっている。ジャガイモ飢饉により、80万人から100万人が死亡したと推定。
- 残りの100万人以上はイングランド、アメリカ、カナダへの移民であった。
- 現在でも、ジャガイモ飢饉直前のおよそ3/4に留まる。

気候変動が変えた農業・社会

中間まとめ(間氷期～現代まで)

時期	気候イベント	農業	マイナス面
1万2900年～ 1万1500年前	氷期から間氷期への移行期(ヤンガードリアス期の気候激変)	イエリコの地から移住し、 アブ・フレイラで 天水農業 を開始	健康状態の悪化(食料不足・飢饉・疫病)
5500年前～ 5000年前頃	完新世の温暖期が終わり、 長期的な寒冷傾向 (サハラの砂漠化、メソポ タミアの乾燥化)	牧畜民・狩猟採集民は大 河川に集まり農耕民へ。 気候変動が続き、 氾濫農 耕 の農業から 灌漑農業 へ。	灌漑農業では塩害が問 題化(メソポタミアでの耕 作放棄)
AD1400年～ 1900年頃	小氷期(とりわけ、マウン ダー極小期といわれる17 世紀が寒冷化の極)	イギリス・オランダでの農 業革命 新大陸の 農産品目のグ ローバル化 (ジャガイモ・ トウモロコシ)	グローバル化の中での多 様性の喪失(アイルランド のジャガイモ飢饉)

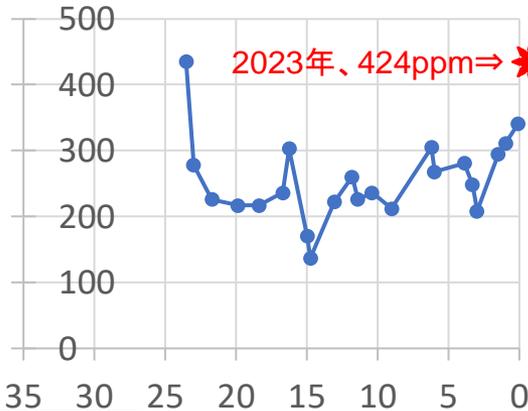
Ⅲ. 人為的地球温暖化による 気候変動と農業の未来

人類は地球に登場してから、もっとも二酸化炭素濃度の多い時代を過ごしている

PPM

21世紀末⇒*

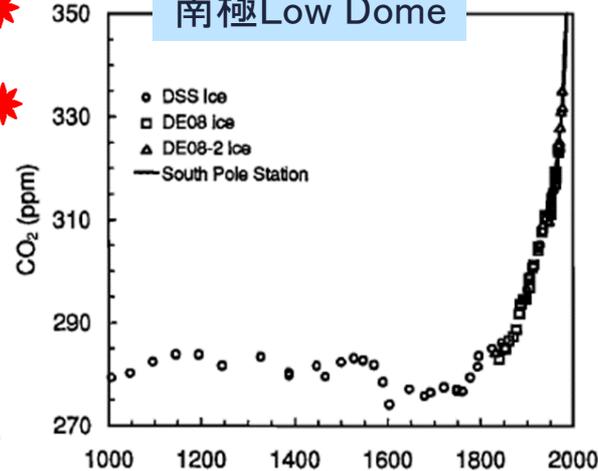
2023年、424ppm⇒*



百万年

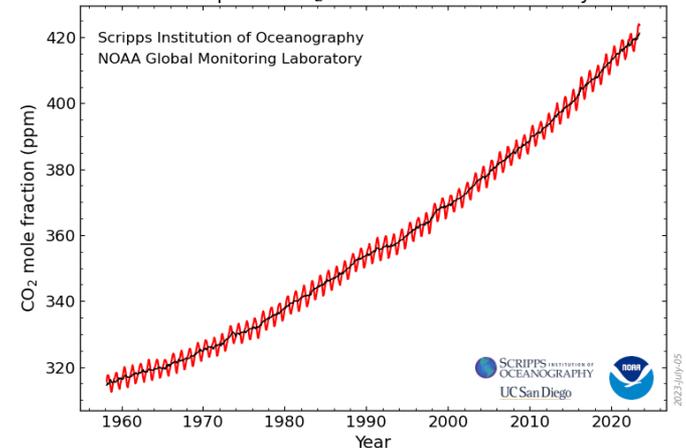
Pearson et al (2000)
Atmospheric carbon dioxide concentrations over the past 60 million years

南極Low Dome



Etheridge et al (1998) Natural and anthropogenic changes in atmospheric CO₂ over the last 1000 years from air in Antarctic ice and firn.

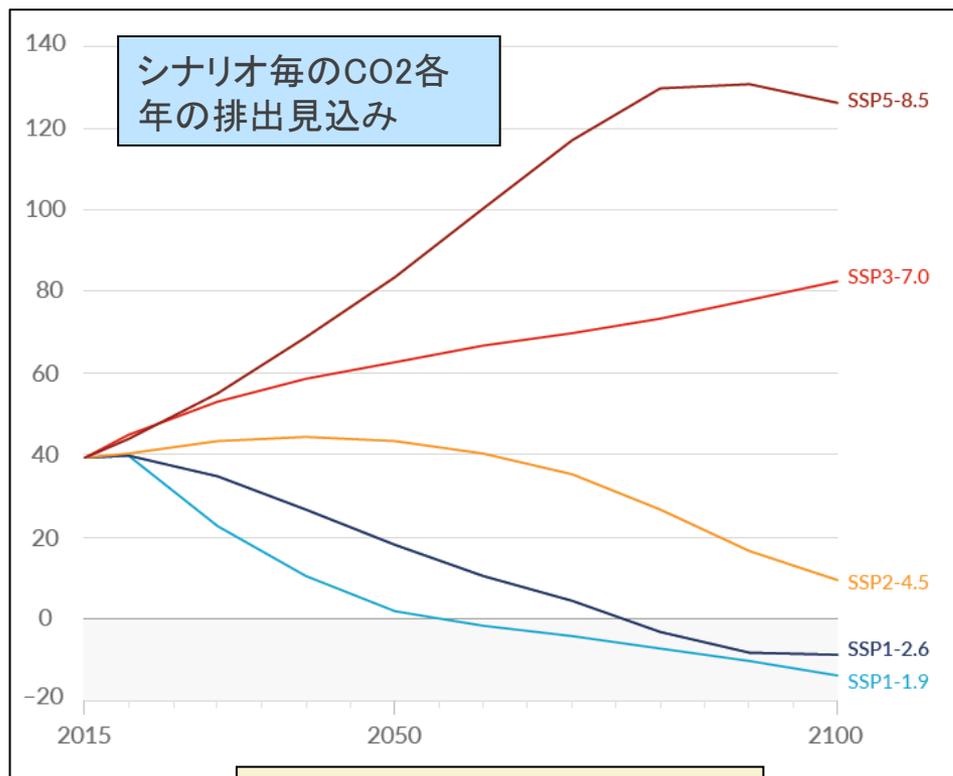
ハワイ島マウナ・ロア山での観測



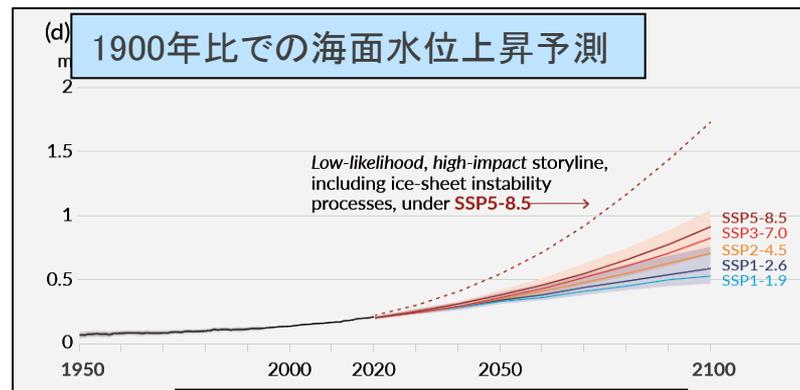
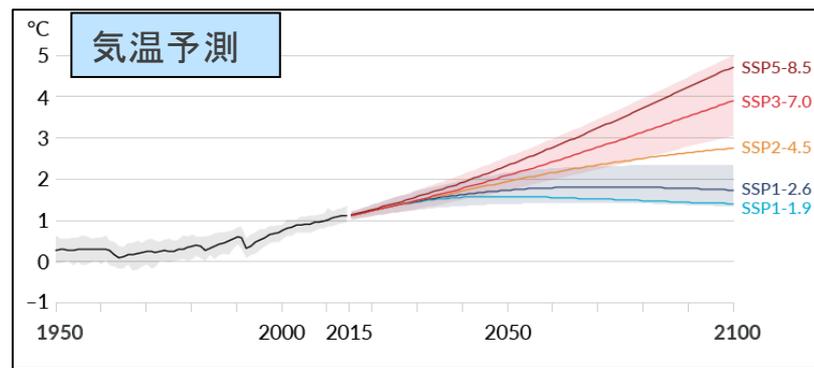
NOAA・スクリップス海洋研究所

- 2500万年前から、150～300ppmの範囲で変動
- 700万年前頃：はじめての直立二足歩行する人類の登場
- 30万年前～20万年前頃：現生人類の登場
- 現代：420ppmを超える⇒さまざまなシナリオがあるが、550ppm程になる(？)

IPCC AR6の温暖化予測



IPCC AR6(2021):Figure SPM4



IPCC AR6(2021):Figure SPM8

- 工業化前基準(1850年から1900年の平均値)に対して、21世紀末の気温上昇予測の中心値は、 1.4°C (SSP1-1.9)、 1.8°C (SSP1-2.6)、 2.7°C (SSP2-4.5)、 3.6°C (SSP3-7.0)、 4.4°C (SSP5-8.5)。
- 現実的なシナリオは、SSP1-2.6とSSP2-4.5の間あたりか。2.3°C上昇？
 - 発展途上国の温室効果ガス削減がおいそれと進むとは想定できない(田家)

IPCC新議長コメント(2023年8月1日)

CLIMATE | GLOBAL ISSUES

Don't overstate 1.5 degrees C threat, new IPCC head says

07/30/2023

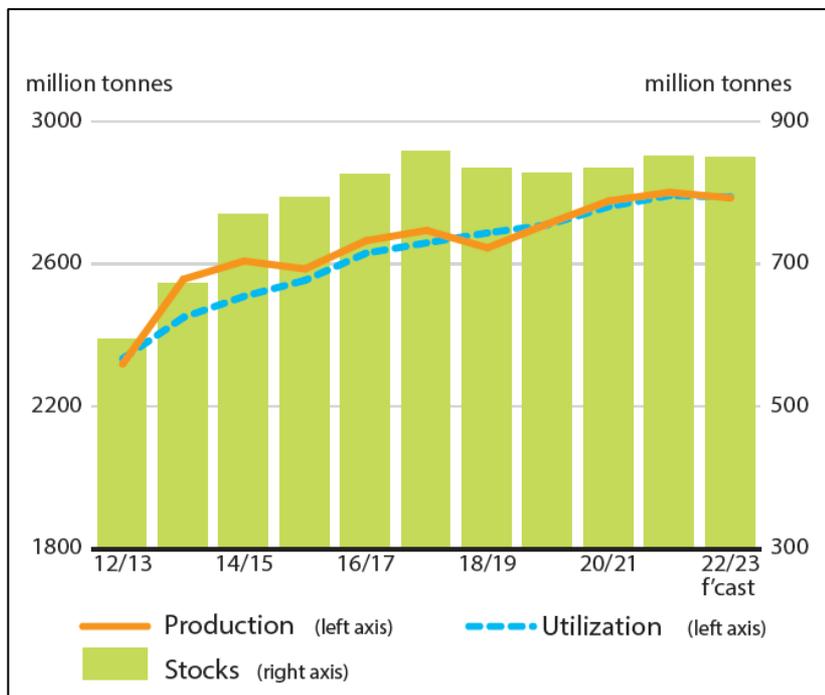
Jim Skea, the new head of the UN's IPCC, said it's not helpful to imply that a temperature rise of 1.5 degrees Celsius is an existential threat to humanity. He calls for a balanced approach to the climate change debate.



- 「IPCC新議長のジム・スキア氏は、産業革命前と比較して地球温暖化を1.5度に抑えるという国際社会の現在の名目目標に過大な価値を置くことに警告を発した」
- 「(もし地球の気温がこの程度上昇したとしても)絶望したり、ショック状態に陥ったりすべきではない」
- 「私たちは皆、絶滅の運命にあるというメッセージを常に発信していると、人々の心は麻痺し、気候変動に対処するために必要な措置を取ることができなくなってしまう」
- 「1.5度以上温暖化しても世界は終わらない。しかし、より危険な世界になるだろう」

- 再生可能エネルギーの拡大や化石燃料の削減は進めるが、2050年ゼロエミッションの旗は下げるかもしれない。
- 気候変動対策は、途上国の防災問題が主になるかもしれない。

気候変動(地球温暖化)と食料供給

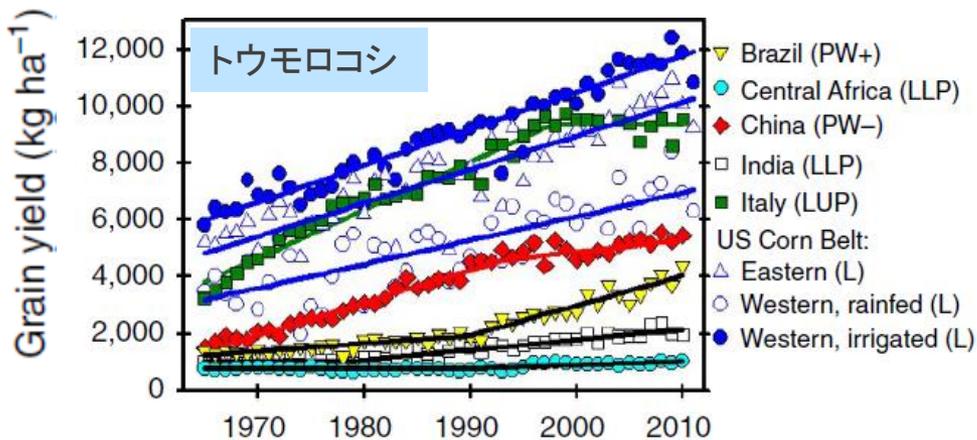
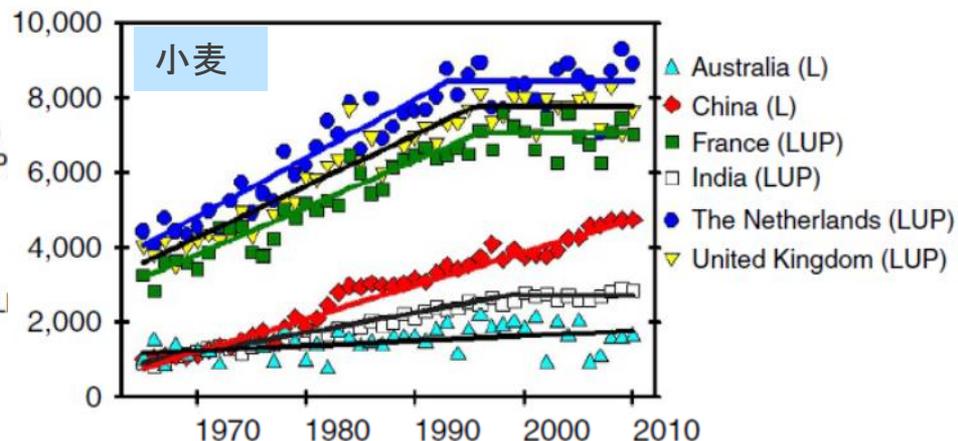
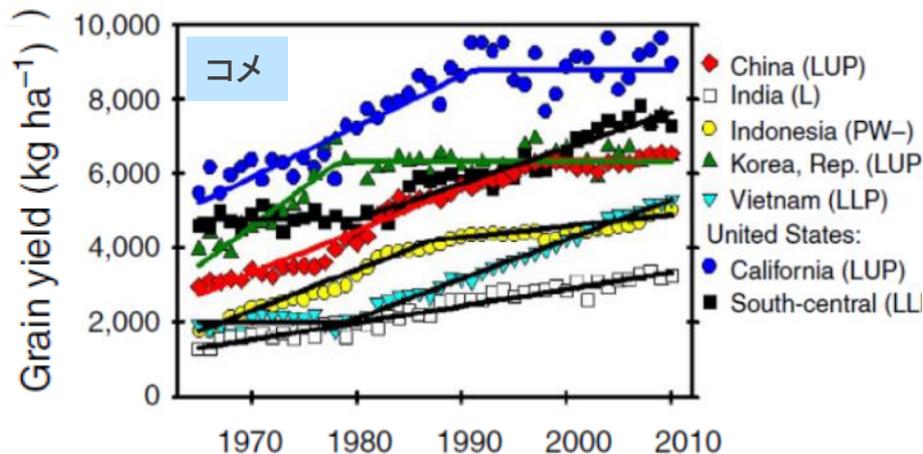


	2020/21	2021/22 estim.	2022/23 f'cast	Change: 2022/23 over 2021/22
	<i>million tonnes</i>			<i>%</i>
WORLD BALANCE				
Production	2 776.9	2 800.8	2 784.5	-0.6
Trade¹	479.3	475.4	462.8	-2.6
Total utilization	2 760.7	2 791.6	2 788.2	-0.1
Food	1 166.4	1 179.2	1 191.3	1.0
Feed	1 038.6	1 046.3	1 033.7	-1.2
Other uses	555.6	566.2	563.2	-0.5
Ending stocks²	833.2	850.1	846.6	-0.4

FAO(2022):Global Outlook

- この10年間は、生産量と消費量がほぼ見合っている。
- 在庫率も年度末在庫に対する年間生産量比で、この3年間は1/3程度。
- 将来もまったく問題はない、と言えるか。
 - 世界人口の増加; アジアおよびアフリカでの人口増
 - 食生活の変化: 肉食志向が強まる傾向(飼料穀物の需要が高まる)

穀物収量：ヨーロッパの小麦と東アジアのコメは頭打ち



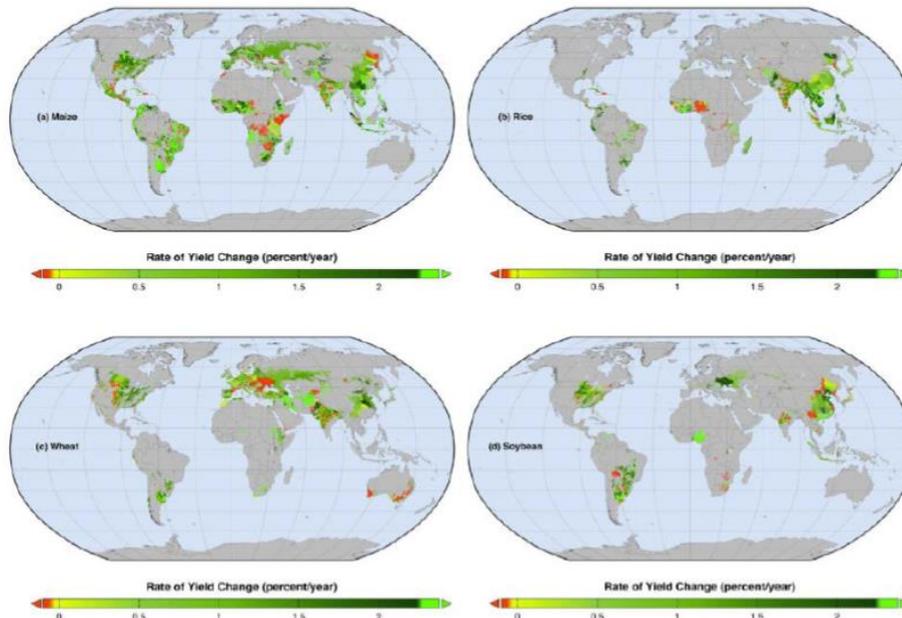
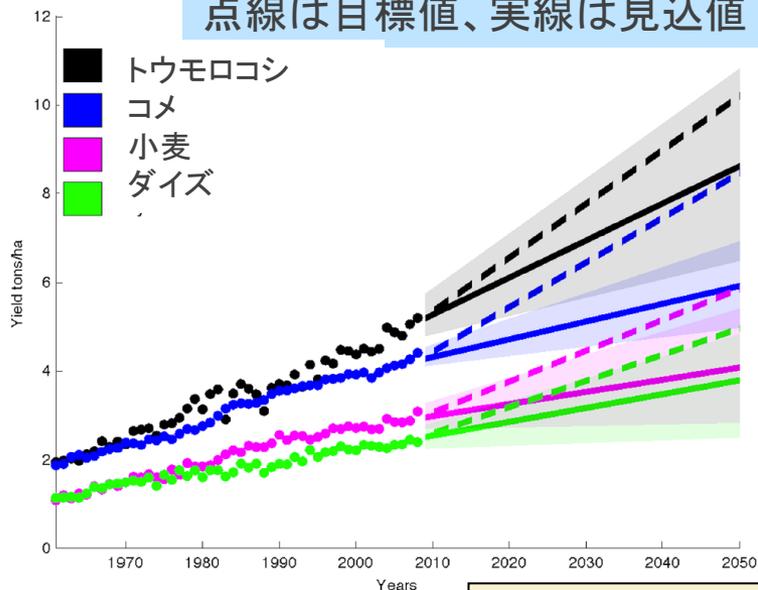
- コメ：1990年代以降、中国・韓国・インドネシアで収量の伸びが止まる。
- 小麦：1990年代以降、オランダ・英国・フランスでは収量の伸びが止まる。中国・インドではまだ上昇を見せている。
- トウモロコシ：全世界で収量はまだ伸びている。

Grassini(2017): Distinguishing between yield advances and yield plateaus in historical crop production trends.

2050年の世界の食料需要と農業生産

生産性トン/ha

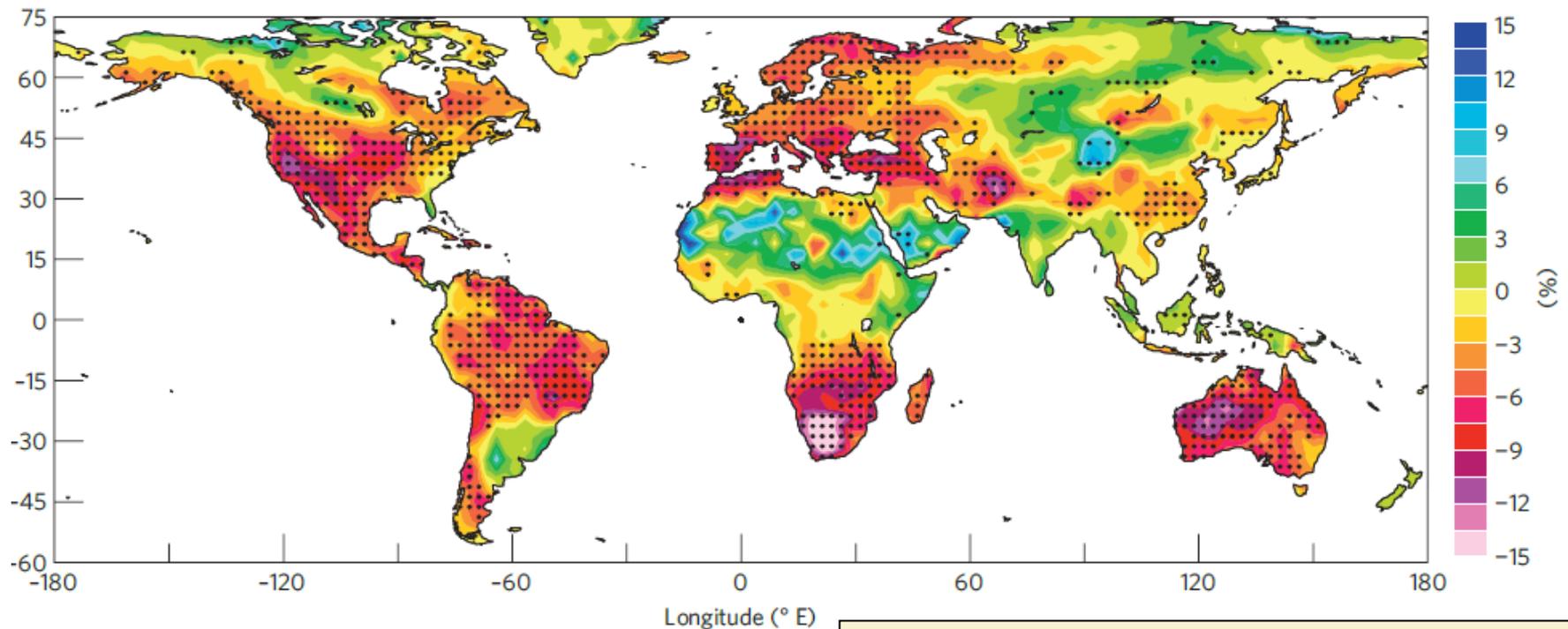
点線は目標値、実線は見込値



Ray (2013) :Yield Trends Are Insufficient to Double Global Crop Production by 2050.

- 人口増加、食生活の変化、バイオ燃料の消費拡大により、穀物生産量は2005年から2050年で2倍に拡大する必要がある。
 - 2005年:65億人⇒2050年:95億人
- 必要とされる生産性の増加率:目標値:2.4%/年
 - 1989年～2008年の実績値:0.9%/年～1.6%/年
- もっとも重要な穀物生産地の24%～39%は、生産性の向上が見込めない。

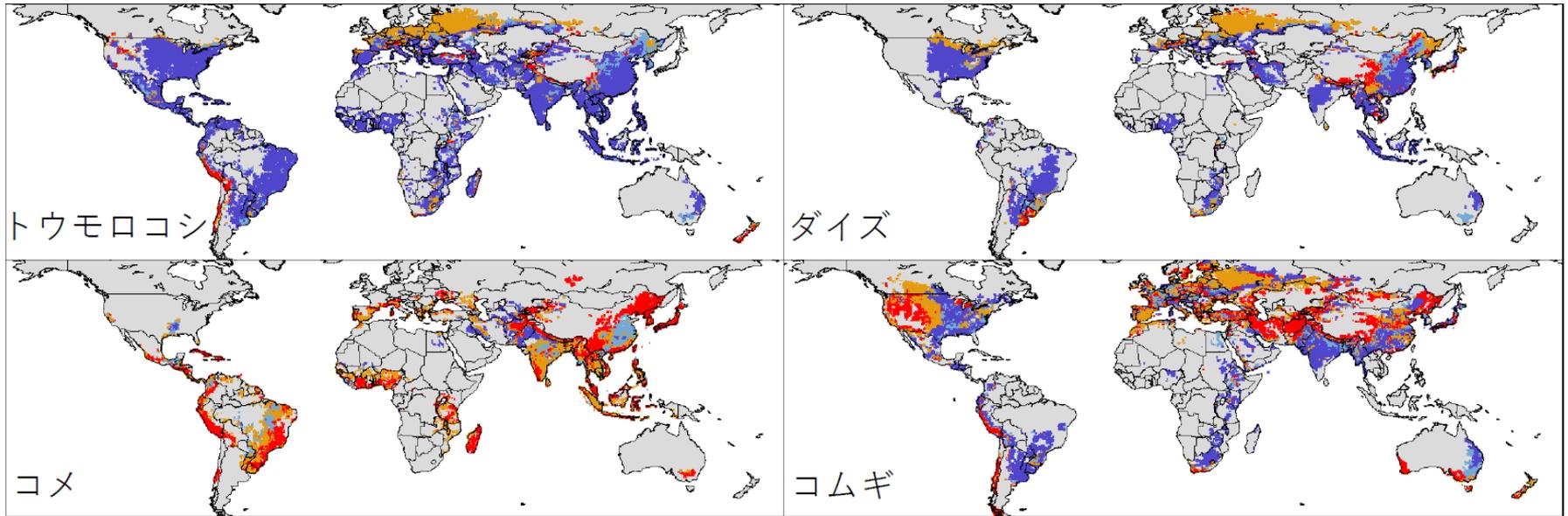
地球温暖化による土壌水分の変容



Dai (2012): Increasing drought under global warming in observations and models.

- 1980年～1999年と2080年～2099年の状況を比較したもの。
- 2080年～2099年の予想値は、RCP4.5のシナリオ(長期的に大気中の二酸化炭素濃度は450ppmと中間的なもの)により、11のコンピュータのシミュレーションを合算したもの。

IPCCのCO2排出シナリオでの収量予想 (2091～2100年)



+1.8°Cを超えると
収量増加が停滞

+2.7°Cを超えると
収量増加が停滞

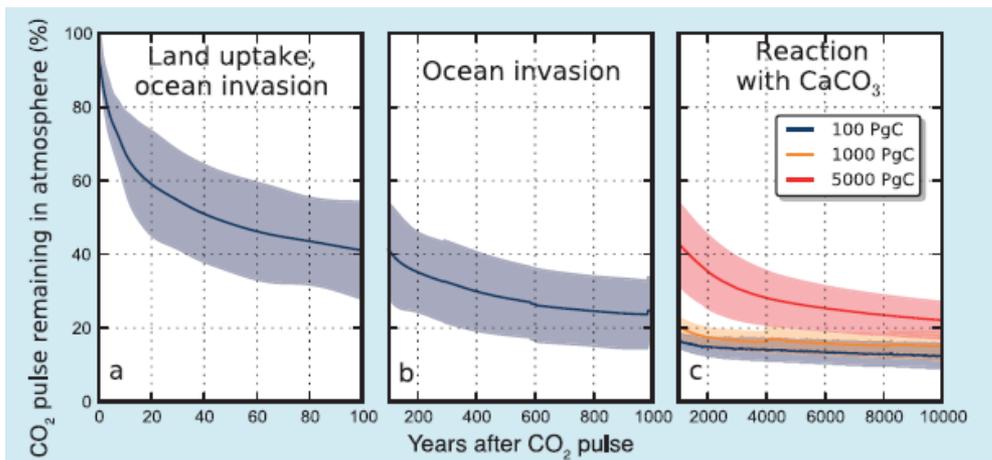
+3.2°Cを超えると
収量増加が停滞

+4.9°Cを超えると
収量増加が停滞

Iiizumi(2018): Responses of crop yield growth to global temperature and socioeconomic changes.

- 農研機構・飯泉主任研究員のNature掲載論文
 - 工業化前(1850年)以降の気温上昇のシナリオ別減収予想。
 - 熱帯・亜熱帯の地域では、3.2°Cより低くても収量は停滞し始める。

地球温暖化に適応した新技術の必要性



IPCC (2013) AR5 WG1 Box6.1

(単位億トン)		1750~2011年総計	2002~2011年
人為起源二酸化炭素排出源	化石燃料燃焼及びセメント製造	3750±300	83±7
	土地利用変化	1800±800	9±8
二酸化炭素吸収源	陸域生態系による吸収 ①	1600±900	25±13
	海洋による吸収 ②	1550±300	24±7
大気中二酸化炭素増加量 (=排出源-吸収源)		2400±100	43±2

気象庁HP:人為起源の炭素収支

- 温室効果ガス削減目標だけでは、地球温暖化の諸問題は解決しない。
 - 排出した温室効果ガスは100年経っても4割が残り、1000年経っても2割は残る。
- 大気中のCO₂を吸収するステップ
 - ① 陸域植物の光合成や土壌微生物による分解
 - ② 海洋吸収(短期): 海洋酸性化
 - ③ 海洋の炭酸カルシウム応答: 深海に沈殿
 - ④ ケイ酸塩鉱物の風化
- 2050年頃にゼロエミッション(CO₂の排出量を実質ゼロ)にしたとしても、温暖化は止まらない。
- 削減とともに、適応が重要。

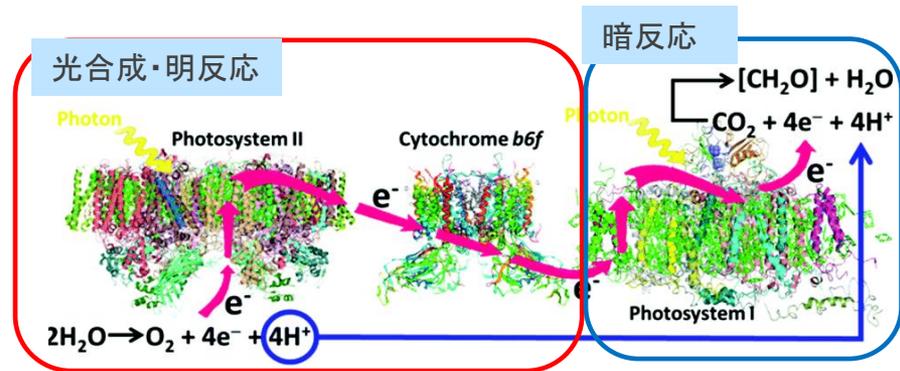
新技術の代表例(見込みは薄そう)

人工光合成

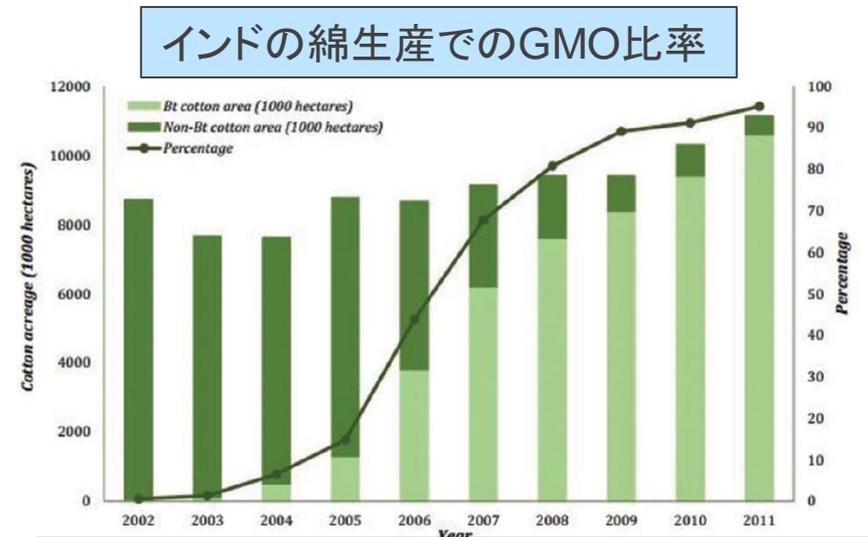
- 明反応と暗反応
- 明反応での光エネルギーの取り込みは、太陽光パネルより効率低い。
 - 可視光しかエネルギーにできないため、エネルギー変換効率は0.3～3%しかない、等
- 暗反応でCO₂から高分子を生成の過程は、工業化した製造がコスト低い。

遺伝子組み換え作物(GMO)

- インドの綿花は成功例
- 安全性の議論は、オオカバマダ蝶、(1999年)とセラリーニ論文(2012年)。
- 穀物での品種改良は、ダイズは今後も見込みがあるものの、トウモロコシ、コメ、コムギは限界に来ている。



Zhang and Sun (2017): Artificial photosynthesis: opportunities and challenges of molecular catalysts.



Ramani(2017): The impact of Genetically Modified (GM) crops in modern agriculture: A review

期待される新しい農業技術 気候変動対策は「緩和」と「適応」

- 緩和＝温室効果ガスの排出を削減し、温暖化やそれに伴う気候変動を防止する。
- 農業部門の温室効果ガス削減
 - ウシのげっぷ：メタンの温室効果は二酸化炭素の25倍もあり、農業分野でのメタン排出量の約77%
 - 米国：ウシの飼料に海藻を使うことでメタン排出を大幅に削減とのベンチャー企業
 - 日本：農研機構がメタン発生を抑制する新たな腸内細菌を発見。

- 適応＝温室効果ガスにより温暖化などの気候変動に対処していく。
- 高温・水不足等の気候変化への対策
 - 気温上昇に対しては品種改良
 - 欧米：AIを用いたゲノム編集
 - 日本：水稲、ブドウ、リンゴ、モモ、ダイズでは本州から九州にかけての環境変化を見据えて品種開発
 - 水不足
 - 米国：垂直農場とよばれるビルの中での農業で、水の使用料を95%削減し、肥料による河川の汚染も防止。
 - 日本：IoTとセンサー技術を用い、土壌環境を自動制御するシステム
 - 農産物のポットごとに自動灌水。

新たな主力穀物の開発

過去1万年、同じ品種に頼ってきた穀物に革命が起きるか



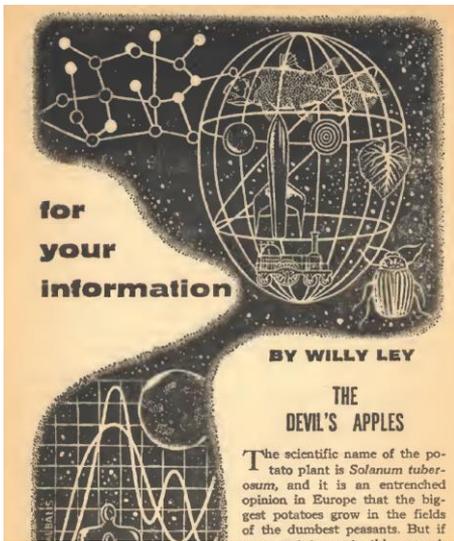
■ 中間ウィートグラス(小麦若葉)

- イネ科の多年生の飼料草。
- 土壌の有機成分を枯渇させない。
- デンマークなどで食用として開発中。
- 高濃度のクロロフィル、ビタミンA、ビタミンC、ビタミンE、カルシウム、マグネシウム、鉄など豊富。

■ キヌア

- アカザと同属、ホウレンソウと同科。
- 南米アンデス山脈で。数千年前より食用に栽培されている擬似穀物。
- タンパク質が多く、高栄養。
- 山地型・谷型などあり、降水量が少なくとも育ち、塩害に強い。

ジャガイモと昆虫食



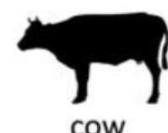
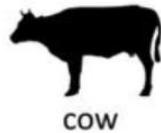
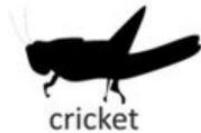
Galaxy Science Fiction(1968)

- ジャガイモ: 16世紀では、奇妙な形でうつ病を起こす植物と噂され、「悪魔のリンゴ」とさえ言われた。
- 現在、昆虫食を開発するベンチャー企業は数多く立ち上げられている。
 - サステナブル社会で、普及していくかもしれない。

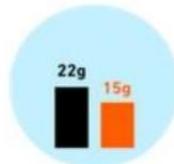
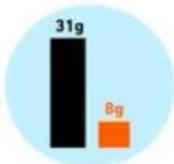
why crickets?

Healthy, sustainable, and delicious. Need we say more? 80% of countries and 2.5 billion people are already eating them!

コオロギと牛の比較



nutrition for 200 calories



■ protein
■ fat

pounds of feed needed to produce one pound of digestible meat



gallons of water needed to produce one pound of meat



greenhouse gas emissions



<http://aliceandinsects.weebly.com/>

気候変動が変える農業・社会 まとめ表(気候変動を見据えて)

時期	気候イベント	農業	マイナス面
1万2900年～ 1万1500年前	氷期から間氷期への移行期 (ヤングドリアス期の気候 激変)	イエリコの地から移住し、ア ブ・フレイラで 天水農業 を開 始	健康状態の悪化(食料不 足・飢饉・疫病)
5500年前～ 5000年前頃	完新世の温暖期が終わり、 長期的な寒冷傾向(サハラ の砂漠化、メソポタミアの乾 燥化)	牧畜民・狩猟採集民は大河 川に集まり農耕民へ。 気候変動が続き、 氾濫農法 の農業から 灌漑農業 へ。	灌漑農業では塩害が問題 化(メソポタミアでの耕作放 棄)
AD1400年～ 1900年頃	小氷期(とりわけ、マウン ダー極小期といわれる17世 紀が寒冷化の極)	英蘭での農業革命 新大陸の 農産物のグローバ ル化 (ジャガイモ・トウモロコ シ)	グローバル化の中での多様 性の喪失(アイルランドの ジャガイモ飢饉)
20世紀後半 (1980年代) 以降	人間活動由来の温室効果 ガスによる地球温暖化 ・社会の在り方とともに、農 業の今後も問われている。	新しい農業が誕生する契機になるのではないか。 ＜過去の3つの転機を踏まえた議論＞ ・採集できる植物をなぜ生育する必要があるのか。 ・土地を掘り水を流す作業をどうやって行うか。 ・「悪魔のリンゴ」を食料にしているのか。 ・今まで馴染んできた穀物以外に手を広げるか。 ⇒このレベルでの問い掛けがなされるに違いない。	

ご聴講いただきありがとうございました

- ご意見・ご質問は大歓迎です。
- 以下のメールなどをお願いします。
- メールアドレス：yasushi.tange@gmail.com