

気候変動と大気・海洋振動が 世界の穀物生産に及ぼす 影響の予測に挑む

飯泉 仁之直(いひずみ としちか)

農研機構 農業環境変動研究センター

2018年3月6日

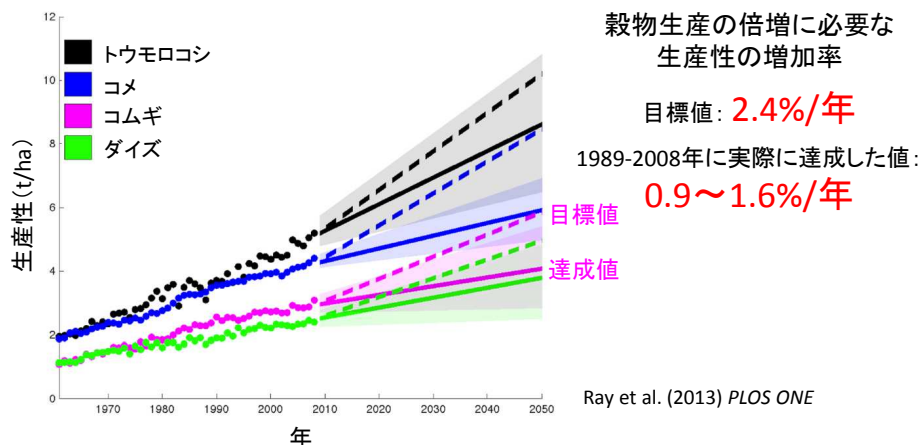
第5回気象サイエンスカフェつくば
@Biviつくば

1

自己紹介

- 筑波大学 生物資源学類、バイオシステム研究科(修士課程)
--- 主に農業経済学を専攻
- その後、民間企業(太田市場の青果物卸)に就職
- 思い立って退職し、筑波大学 生命環境科学研究科 地球環境科学専攻(博士課程・5年制の3年次)に編入学
--- 気候学・気象学を専攻
--- 「気候変動が農業保険金額に与える影響の評価」で学位
- JAMSTEC 海洋地球情報部 技術員
- 農業環境技術研究所 ポスドク → 任期付き → 主任研究員
- 客員研究員: ①リーズ大学 気候・気象学研究所(英国)、②マギル大学 地理学部(カナダ)、③ブリティッシュ・コロンビア大学 リュー地球規模問題研究所(カナダ)
- 専門は農業気象学。気候・農業・経済の関係が研究対象

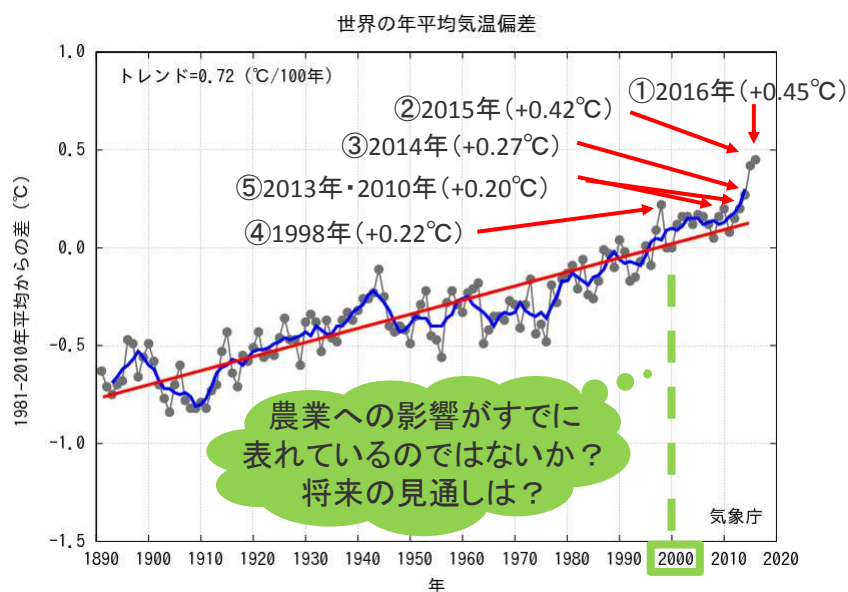
2050年に96億人の世界人口を気候変動の中で養う



人口増加と新興国の経済発展、バイオ燃料利用の増加により、世界の穀物需要は2050年までに2005年の約2倍に達すると見込まれている。この目標を、農業生産に対して好影響よりも悪影響が大きいと考えられる気候変動の下で達成しなくてはならない。

3

気候変動(地球温暖化)は世界全体で進行中



出典: 気象庁 (http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/temp/an_wld.html)

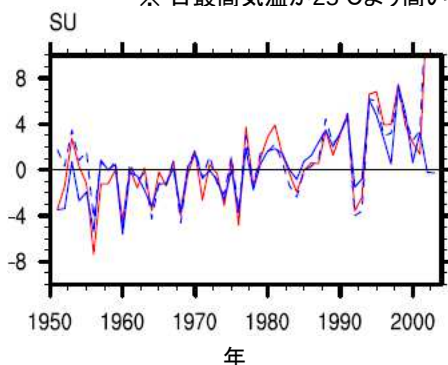
4

暖かい日・暑い日が増え、涼しい日・寒い日が減っている

世界の7100以上の地点観測データの平均

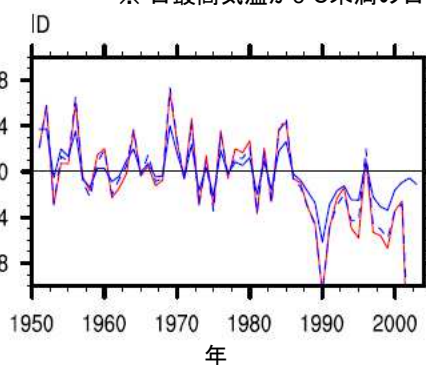
年間の夏日の日数の推移(日)

※ 日最高気温が25℃より高い



年間の真冬日の日数の推移(日)

※ 日最高気温が0℃未満の日



※ 青実線はデータがある地点に偏りがある

出典: Donat et al., 2013, JGR

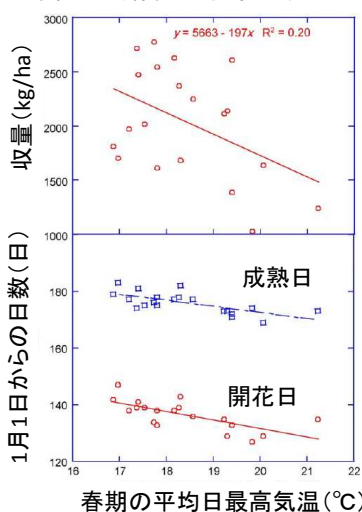
(<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jgrd.50150/abstract>)

5

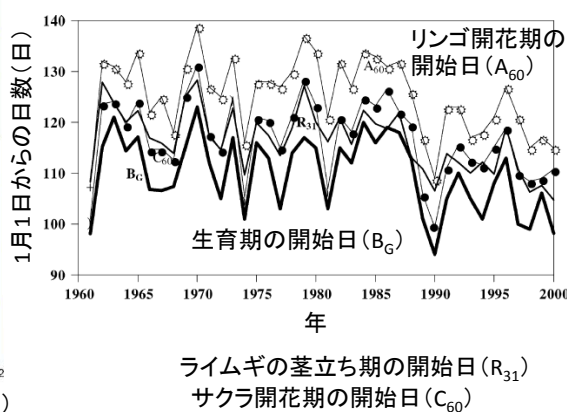
こうした変化は作物の生長や生産にも影響を与えている

中国・甘肅省天水市の春コムギ

※ 品種や栽培管理も変化している点に注意



ドイツの果樹・作物の生物季節の推移

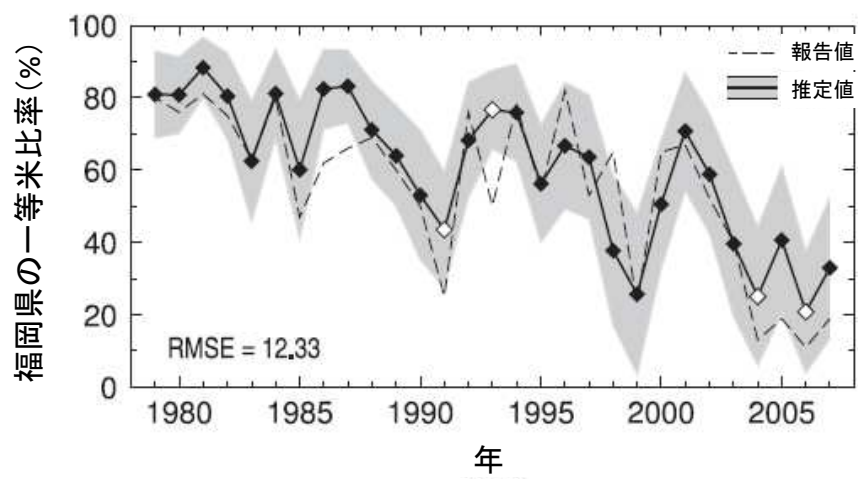


出典: Tao et al., 2006, AFM (doi:10.1016/j.agrformet.2006.03.014)、

(右) Chmielewski et al., 2004, AFM (doi:10.1016/S0168-1923(03)00161-8)

6

日本も例外ではない(例:コメ外観品質への影響)



Okada et al (2011) *Environ. Res. Lett.*

7



Morita et al, 2016, *PPS* (doi:10.1080/1343943X.2015.1128114)

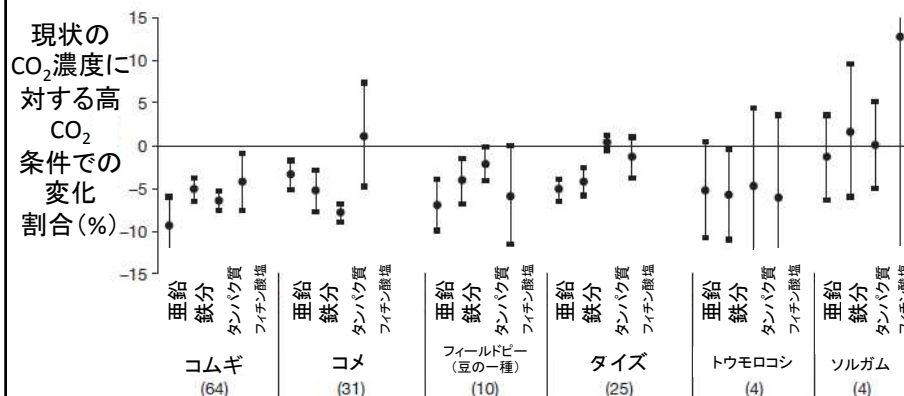
8

気候変動は穀物の栄養素にも影響するかもしれない

亜鉛・・・不足すると発育不全、味覚障害などを引き起こす。

鉄分・・・不足すると貧血を引き起こす。

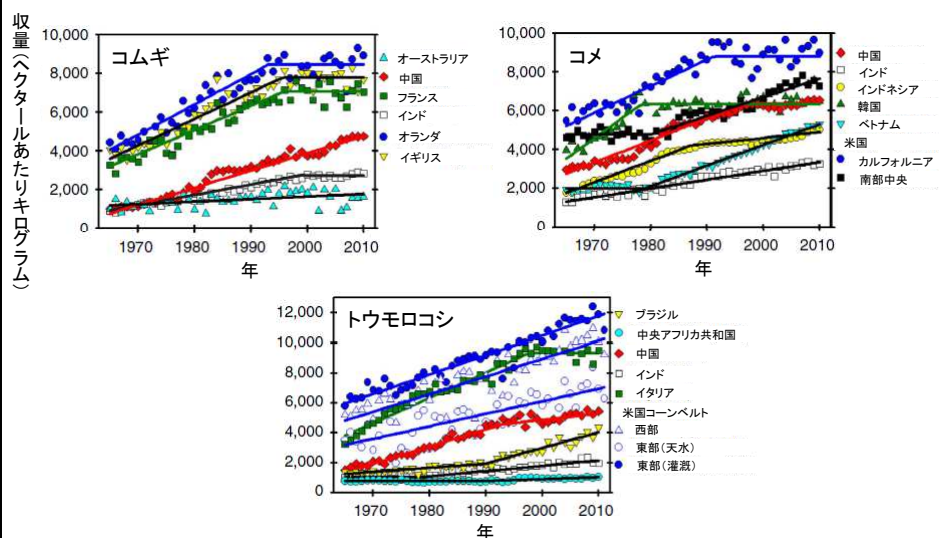
フィチン酸塩・・・人間の腸内細菌による亜鉛の吸収を阻害する。



出典: Myers, 2014, *Nature* (doi:10.1038/nature13179)

9

ヨーロッパ北西部のコムギや東アジアのコメなどの収量増加が近年、停滞している



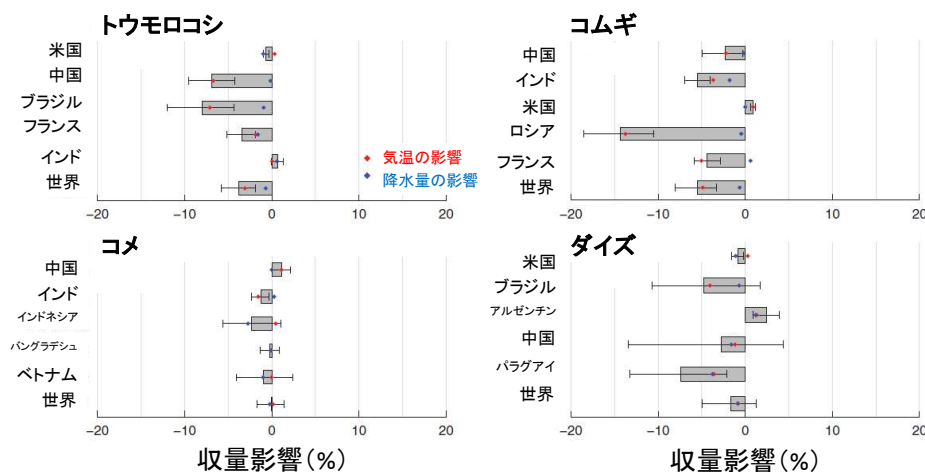
Grassini et al. (2013) *Nature Communications* の図5を改変して使用した。

10

世界の生産量の3.8～5.5%が過去29年間に気候変動で失われた

※ それぞれ、メキシコの年間生産量2300万トン、フランスの年間生産量3300万トンに相当

※ 1980～2008年

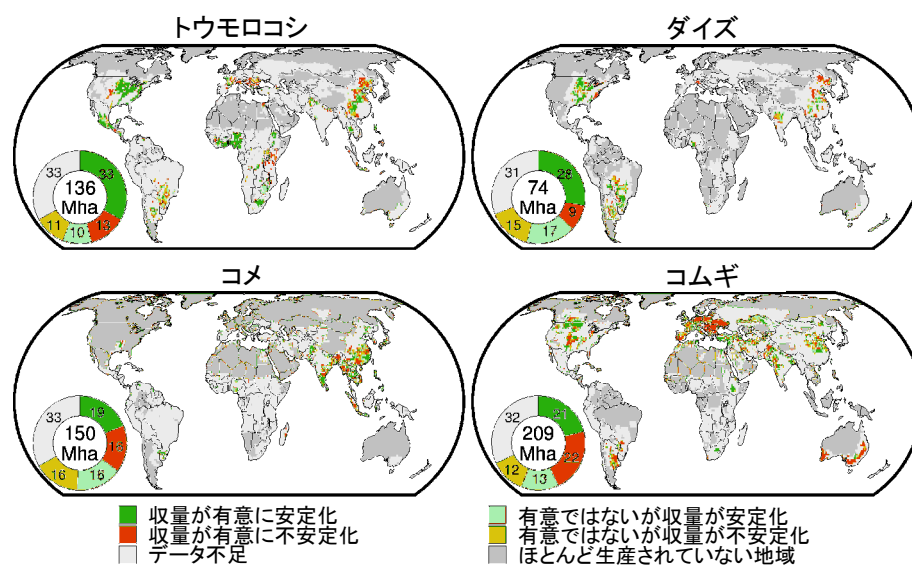


出典: Lobell et al., 2012, *Science*

(<http://science.sciencemag.org/content/333/6042/616>)

11

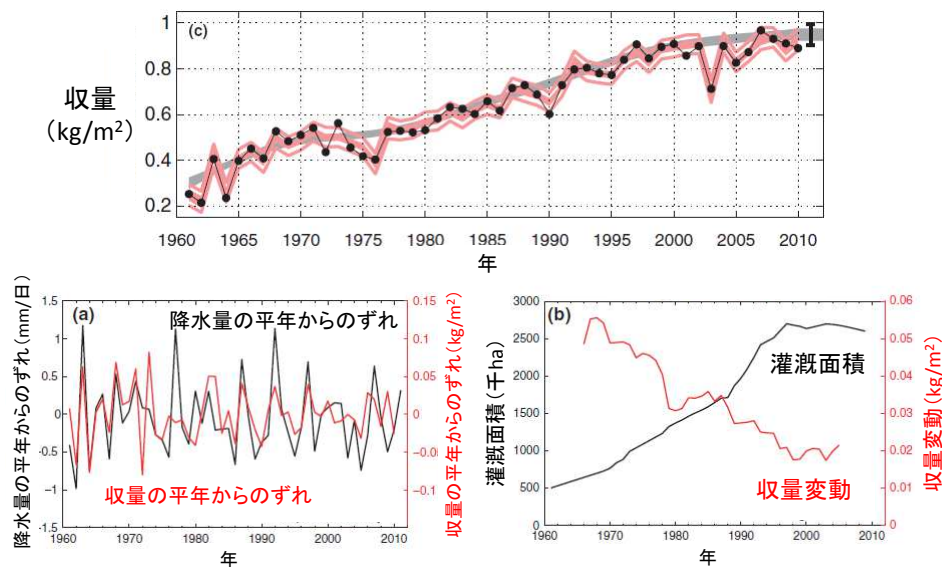
世界の収穫面積の9-22%で収量が不安定化



Iizumi & Ramankutty (2016) *Environmental Research Letters*

12

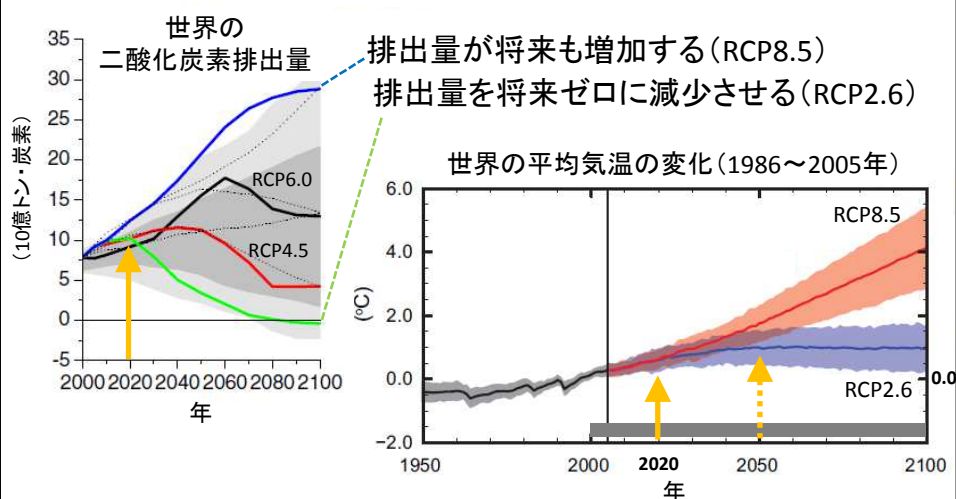
フランスのトウモロコシ収量は降水量の変動とではなく、 気温の変動と連動するようになった



出典: Howkins, 2013, *GCB* (doi:10.1111/gcb.12069)

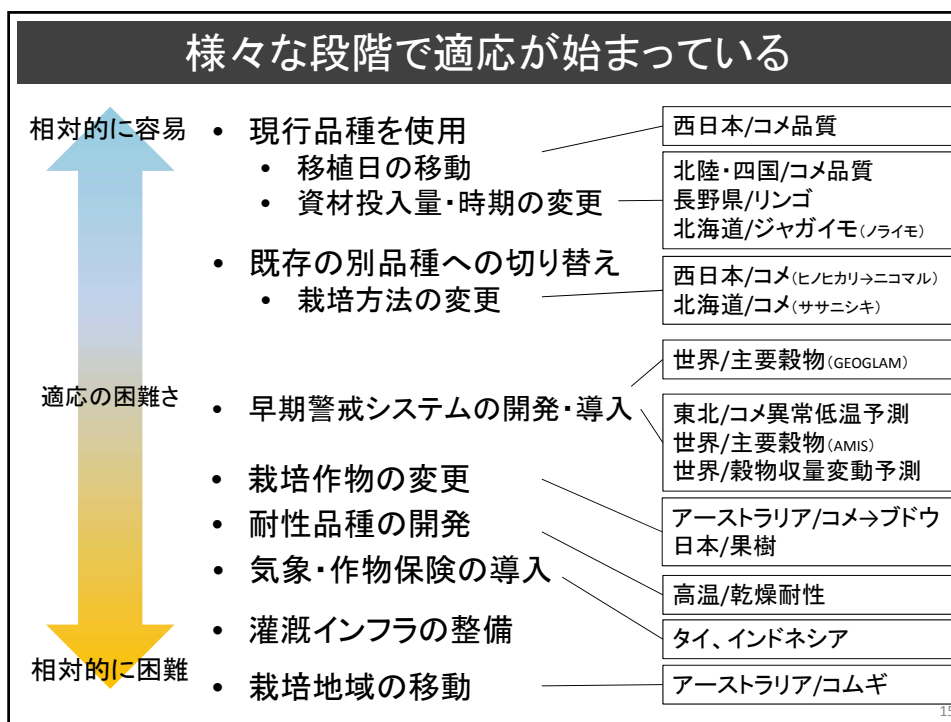
13

排出を止めても気温が安定化するには数十年間かかる



出典: (右) IPCC第5次評価報告書 第1作業部会報告書 政策決定者向け要約 Fig. SPM7、
(左) van Vuuren et al. (2011) *CC* (doi:10.1007/s10584-011-0148-z)

14



コメの高温耐性品種の利用増加

水稻の高温耐性品種の作付状況

品種名	作付面積 (ha)					作付けの多い上位3県
	H22	H23	H24	H25	H26	
きぬむすめ	4,866	5,545	6,957	9,534	11,808	島根県、鳥取県、岡山県
つや姫	2,537	3,648	8,560	9,831	10,227	山形県、宮城県、島根県
ふさこがね	7,368	8,154	7,986	8,280	8,280	千葉県
にこまる	2,303	2,941	4,084	5,489	7,105	長崎県、愛媛県、大分県
ふさおとめ	6,140	6,584	6,357	6,493	7,043	千葉県
その他	14,513	19,168	21,842	26,448	33,011	
計	37,700	46,000	55,800	66,100	77,500	

コメの高温耐性品種の栽培面積は、作付面積の**2%** (162.5万ヘクタール・2010年) から**5%** (157.3万ヘクタール・2014年) に増加

出典: 農林水産省 (http://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/ondanka/pdf/h26_report1.pdf)

16

宮崎県における南国果樹生産の増加



宮崎県

ミカン栽培の減少。3,260ヘクタール(1985年)から736ヘクタール(2015年)に減少



マンゴー



ライチ



アボガド

40ヘクタール(1985年)から438ヘクタール(2015年)。現在、宮崎県は生産シェア2位

<http://www.miyazaki-u.ac.jp/crcweb/sangakuwp/wp-content/uploads/2015/10/2f7216d0a53796a6c50d8db8cc0468c71.pdf>

http://www.pref.miyazaki.lg.jp/noseikikaku/shigoto/nogyo/documents/27106_20170116163617-1.pdf

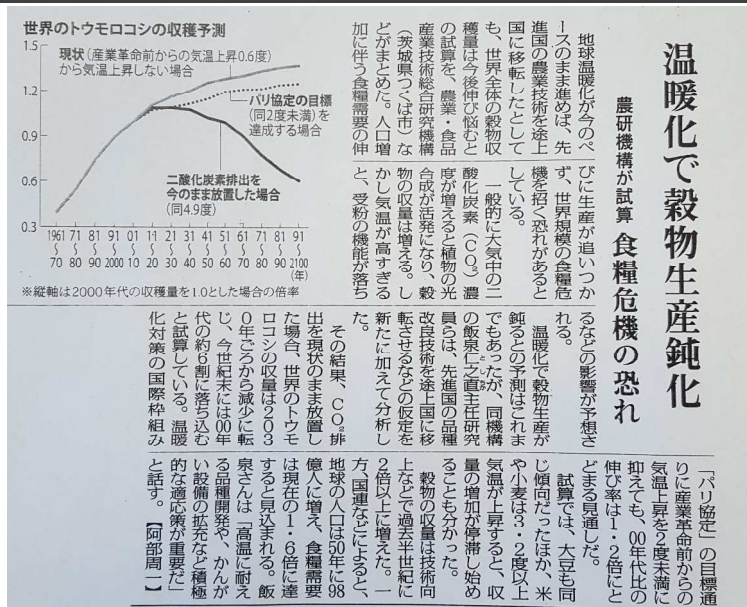
17

気候変動は農業生産にすでに
影響を及ぼしている。

気候変動の進行により、将来、
どのような影響が懸念されるか？

18

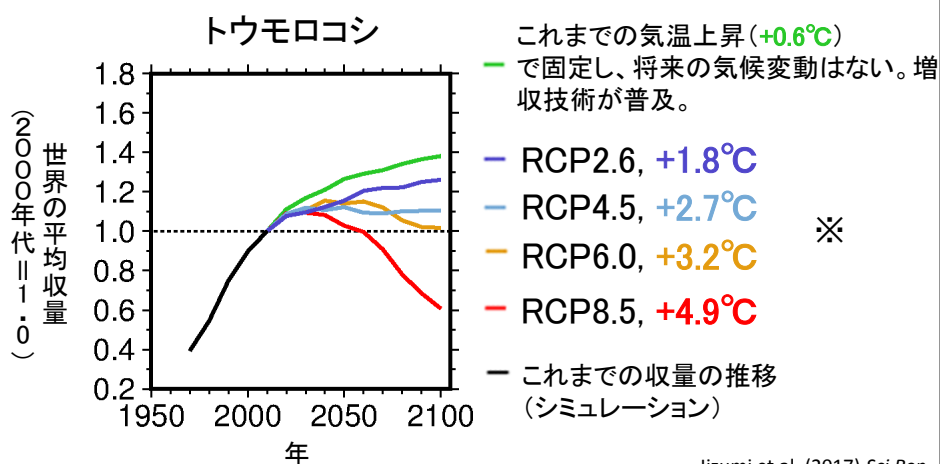
気候変動で世界の穀物収量の伸びは将来、鈍化



毎日新聞(朝刊・24面・2017年9月6日)

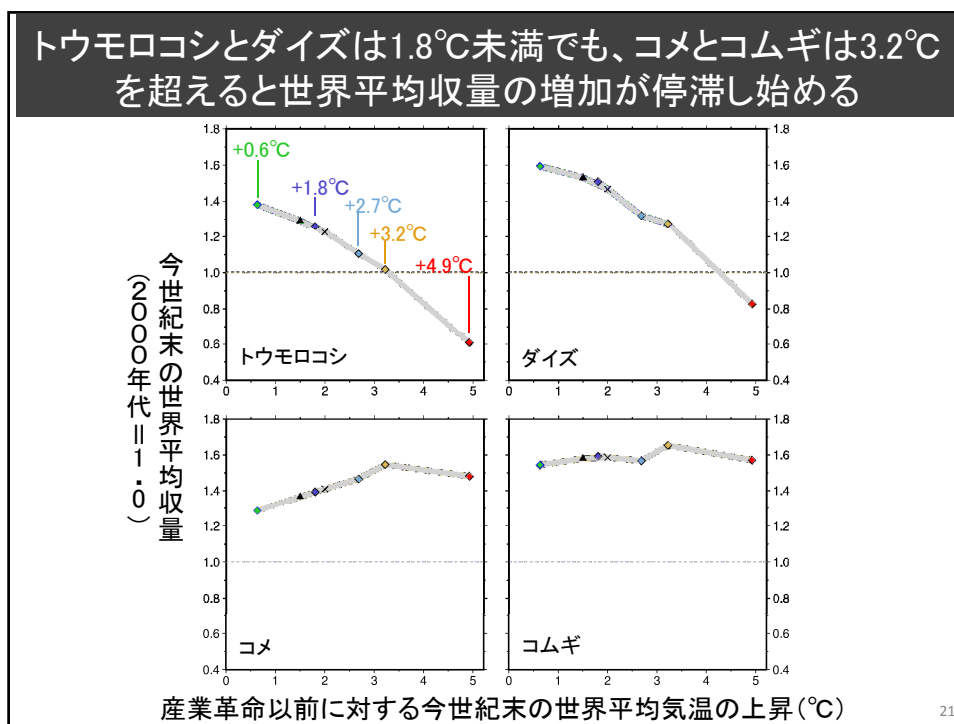
19

今世紀末の気温上昇が1.8℃未満でもトウモロコシの世界の平均収量の増加は抑制される

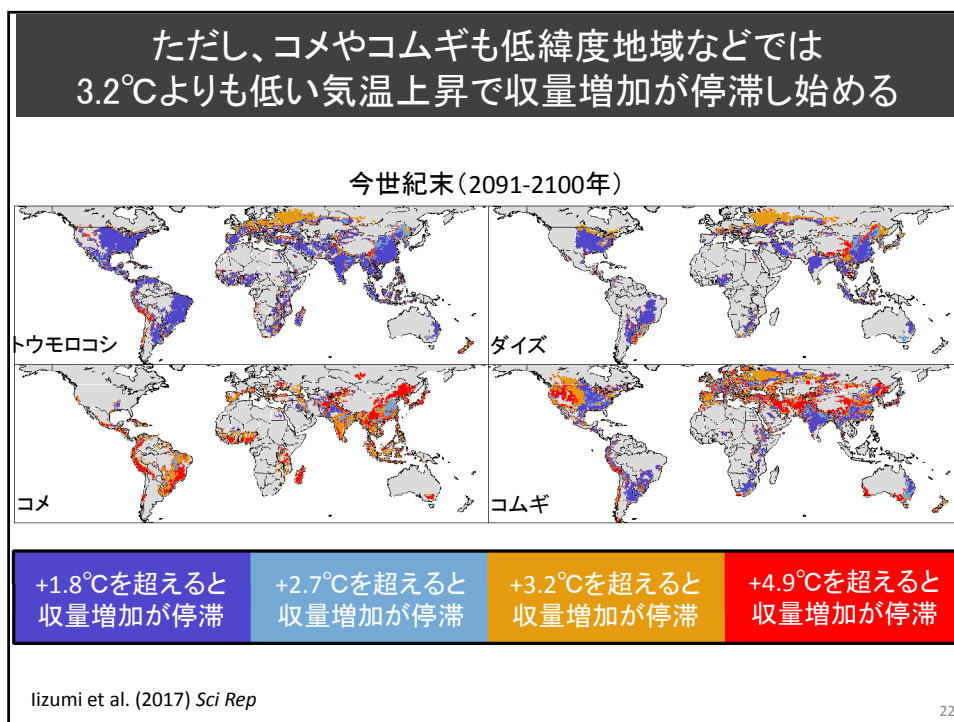


※ 産業革命以前(1850-1900年)に対する今世紀末(2091-2100年)の世界の平均気温の上昇。気候変動が進行し、増収技術と簡易な適応技術が普及

20



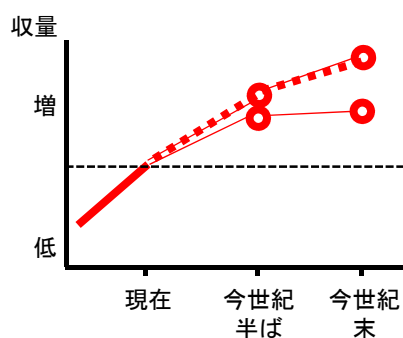
21



22

簡易な対策技術だけでは収量の増加を維持する上で不十分

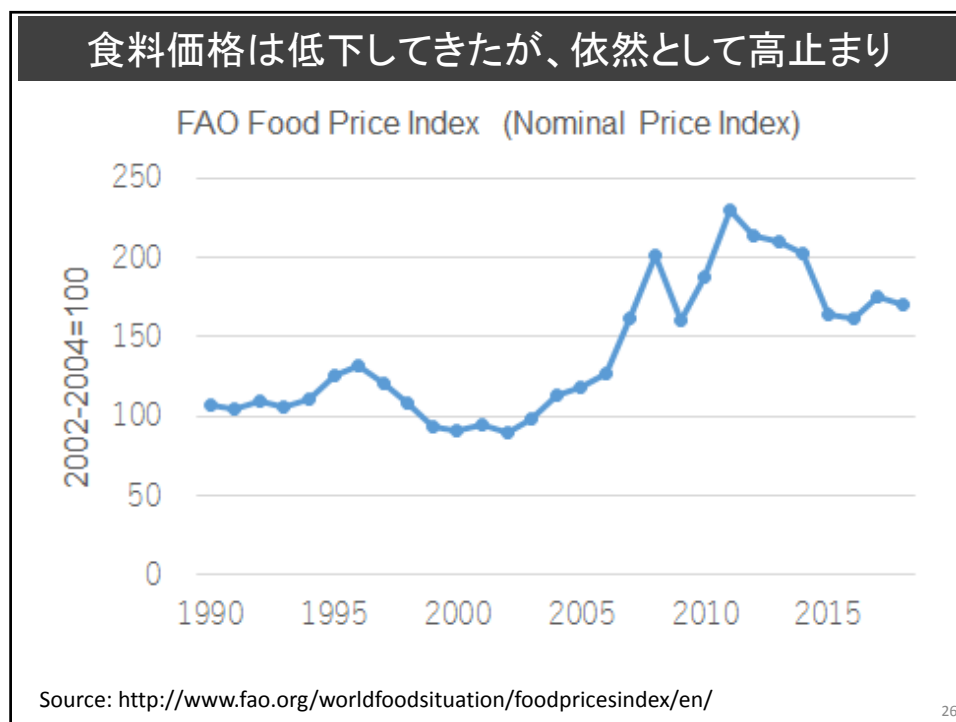
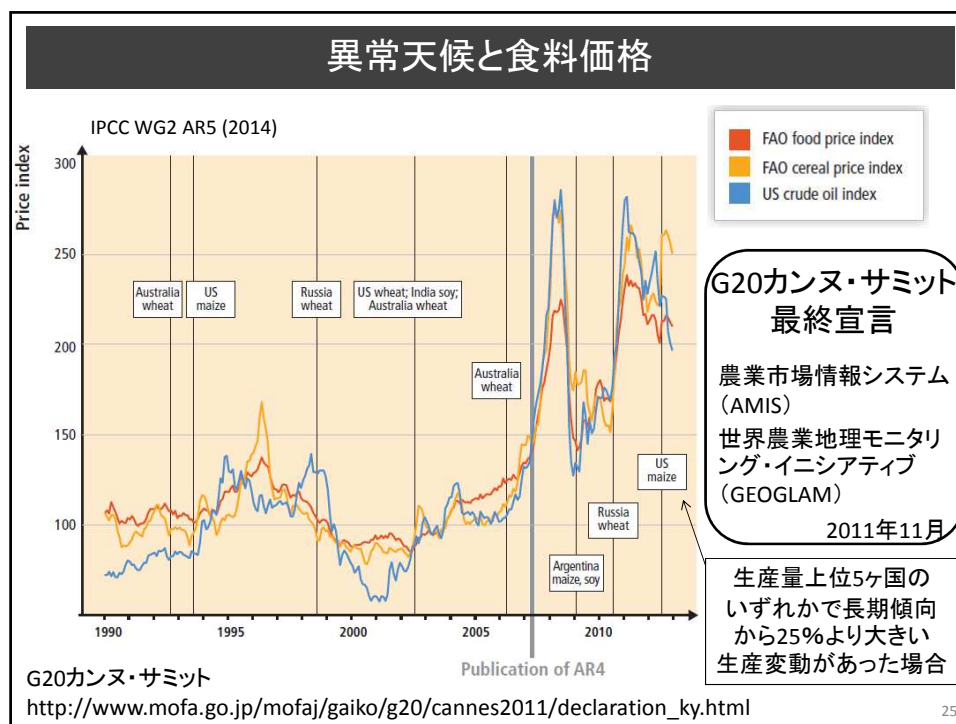
増加する食料需要を満たすためには、
高温耐性品種や灌漑・排水設備など、より積極的な
適応技術の開発・普及がますます重要



23

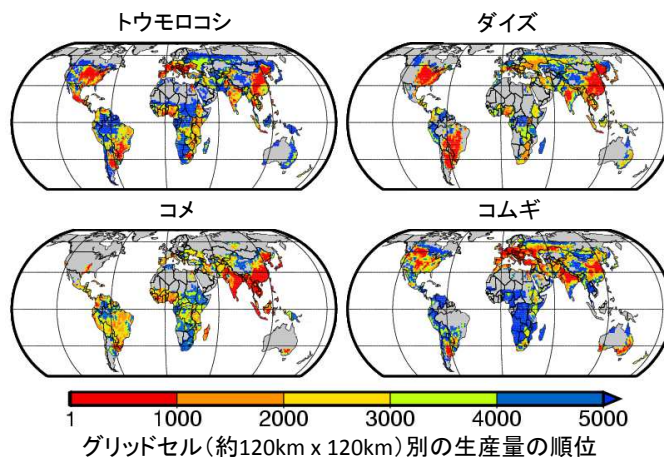
気候変動下で収量増加を維持するための
適応技術の開発・普及は重要である。
一方で、気候変動下の異常天候
(極端現象)への対応も急ぐ必要がある。

24



少数の国が世界生産量の大半を占める

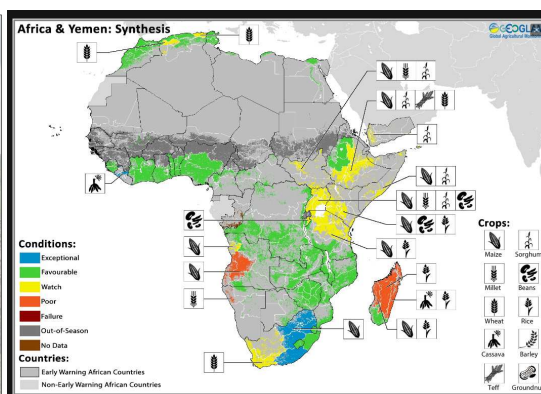
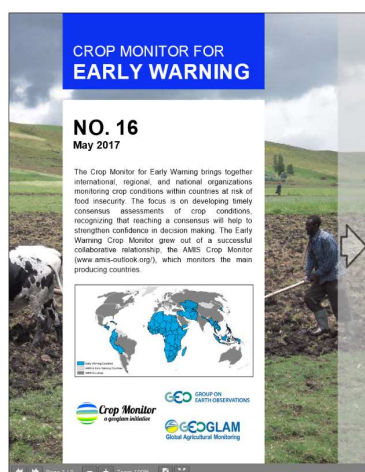
作物	収穫面積 (100万ha)	収量 (t/ha)	生産量(上位3カ国 シェア) (100万t)	輸出量(上位3カ 国シェア) (100万t)	貿易量/生産量 (%)
Maize	161	4.1	827 (64%)	102 (74%)	12.3
Soybean	96	1.7	231 (81%)	79 (89%)	34.1
Rice	159	3.7	689 (58%)	29 (63%)	4.2
Wheat	222	3.1	683 (38%)	131 (47%)	19.2



27

GEOGLAMの作物監視月次報告書

GEOGLAM CROP MONITOR

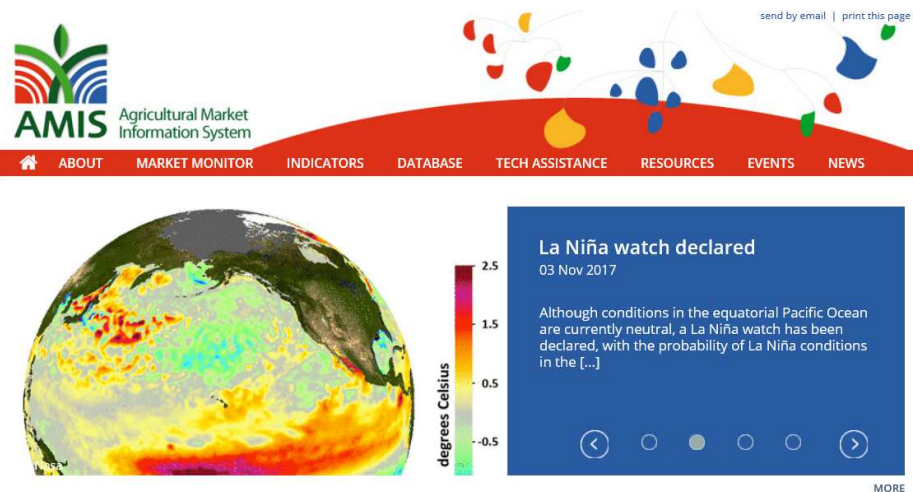


<https://cropmonitor.org/index.php/2017/05/04/crop-monitor-for-early-warning-may-2017/>

28

農業統計に基づく穀物価格監視システム AMIS

The Agricultural Market Information System (AMIS)



<http://www.amis-outlook.org/>

29

季節予測データに基づく作物の収量変動予測

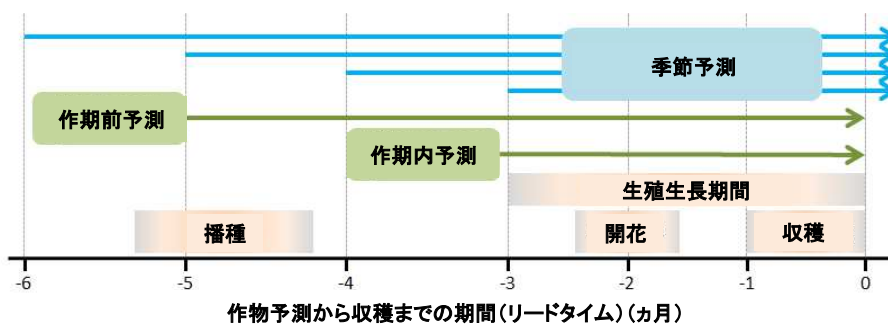
nature
climate change

LETTERS

PUBLISHED ONLINE: 21 JULY 2013 | DOI: 10.1038/NCLIMATE1945

Prediction of seasonal climate-induced variations in global food production

Toshichika Iizumi^{1*}, Hirofumi Sakuma^{2,3}, Masayuki Yokozawa¹, Jing-Jia Luo⁴, Andrew J. Challinor^{5,6}, Molly E. Brown⁷, Gen Sakurai¹ and Toshio Yamagata³

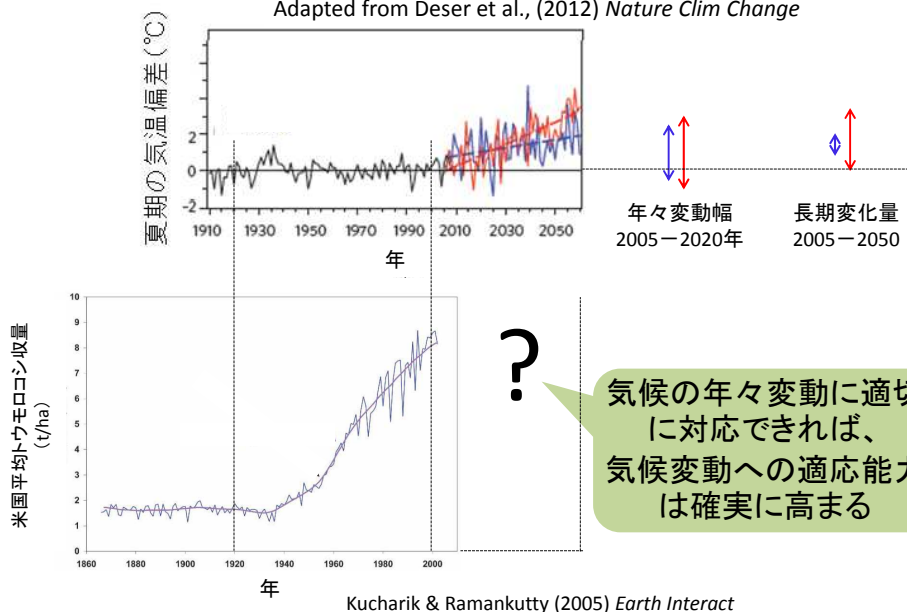


作物予測から収穫までの期間(リードタイム)(ヵ月)

30

季節予測の活用は気候変動への適応策

Adapted from Deser et al., (2012) *Nature Clim Change*



31

農環研における収量変動予測研究

2013

コメとコムギについては世界の収穫面積の約2割で収穫3ヶ月前に収量の豊凶を予測できる(JAMSTECと共同)

nature
climate change

LETTERS
PUBLISHED ONLINE: 21 JULY 2013 | DOI:10.1038/NCLIMATE1945

Prediction of seasonal climate-induced variations in global food production

Toshichika Iizumi^{1*}, Hirofumi Sakuma^{2,3}, Masayuki Yokozawa¹, Jing-Jia Luo⁴, Andrew J. Challinor^{5,6}, Molly E. Brown⁷, Gen Sakurai¹ and Toshio Yamagata¹

nature
COMMUNICATIONS

ARTICLE

Received 10 Oct 2013 | Accepted 24 Mar 2014 | Published 15 May 2014

DOI: 10.1038/ncomms4712

Impacts of El Niño Southern Oscillation on the global yields of major crops

Toshichika Iizumi¹, Jing-Jia Luo², Andrew J. Challinor^{3,4}, Gen Sakurai¹, Masayuki Yokozawa⁵, Hirofumi Sakuma^{6,7}, Molly E. Brown⁸ & Toshio Yamagata¹

Environmental Research Letters

LETTER

Changes in yield variability of major crops for 1981–2010 explained by climate change

Toshichika Iizumi^{1,2} and Navin Ramankutty²

2014

ENSOと収量変動の全球マップを公表(JAMSTECと共同)。全球作物収量変動予測情報を初めて公表。

2015

全球作物収量変動予測システムのプロトタイプを農環研で開発

2016

気候変動による収量の安定性の変化を検出

2017

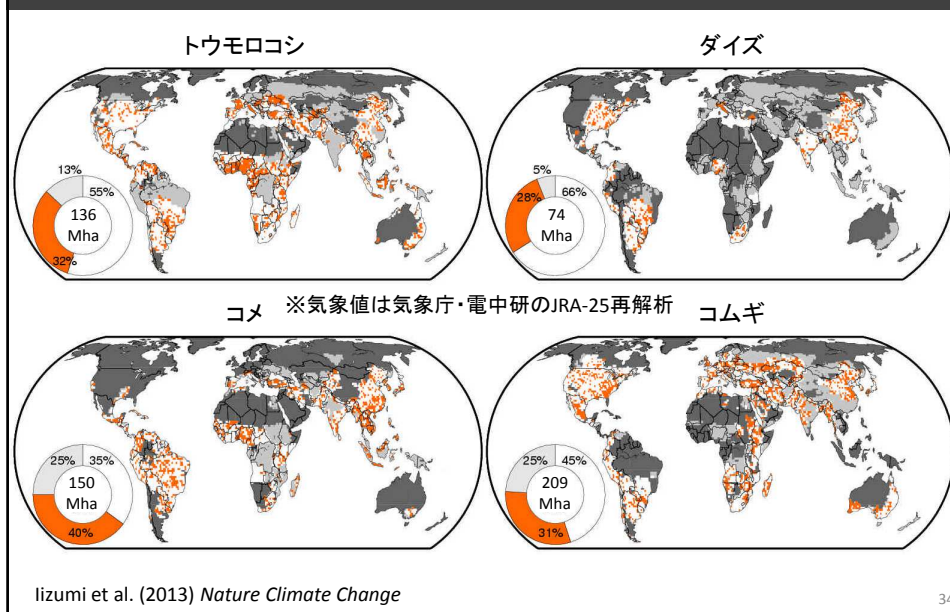
よりオペレーショナルな収量変動予測情報サービスの開発(APEC気候センターと共同)

32

世界の作物の収量変動は 生育期間の気象条件で どの程度、説明できるのだろうか？

33

世界の栽培面積の28—40%の地域では、生育期間中の
気象条件から収量変動(前年比)を精度良く説明できる

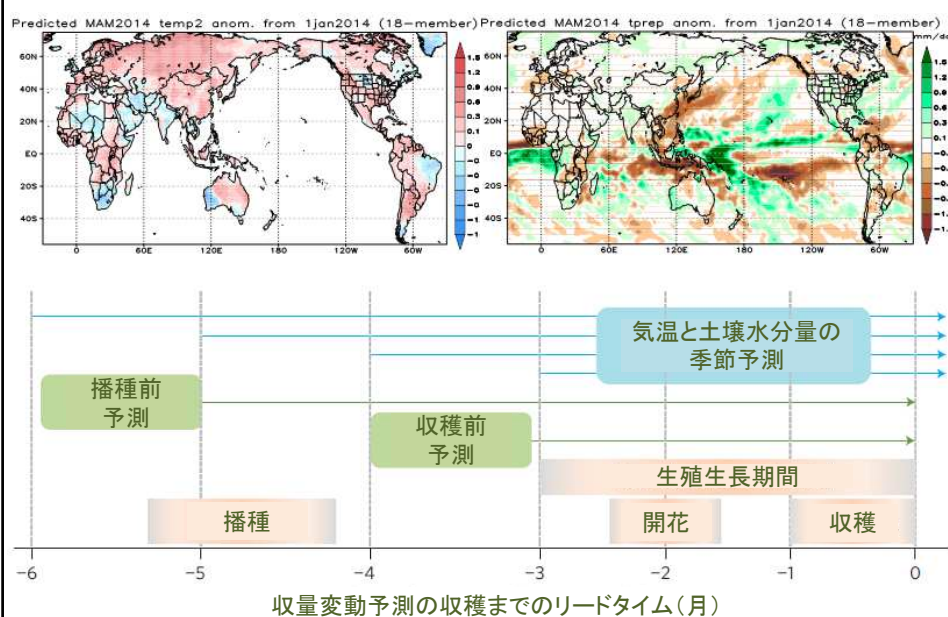


34

では、収穫の数ヵ月前時点では、
信頼性の高い収量変動予測は
どの程度、可能なのだろうか？

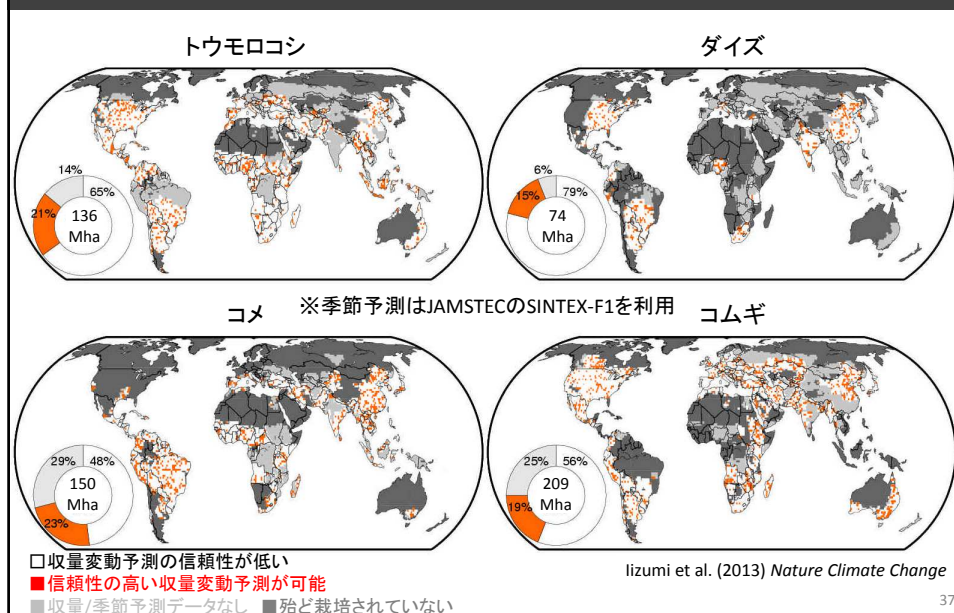
35

季節予測(JAMSTEC・アプリケーションラボ)



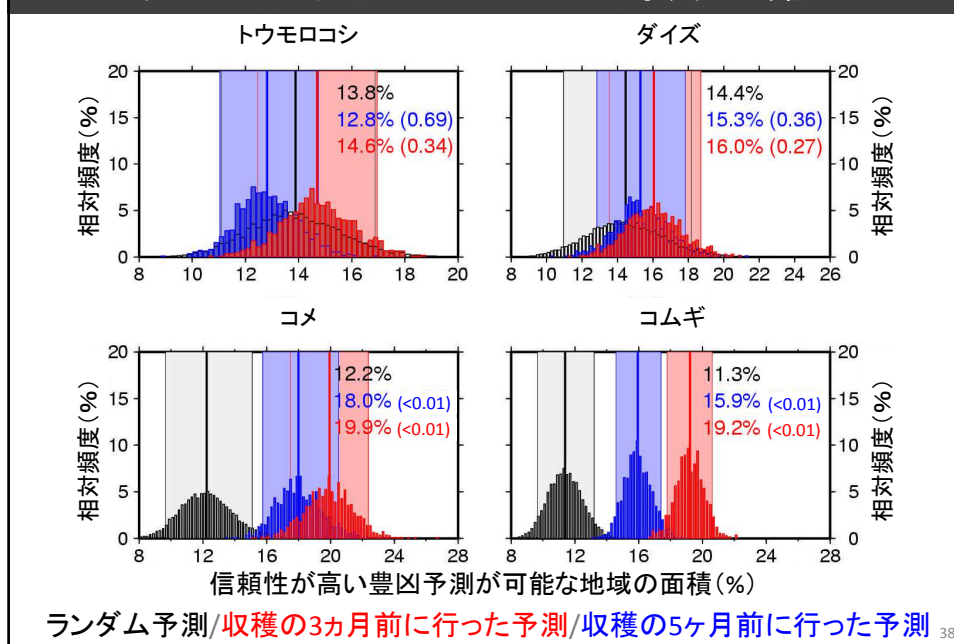
36

世界の栽培面積の15—23%の地域では収穫の3カ月前に栽培中の作物の収量変動を予測できる



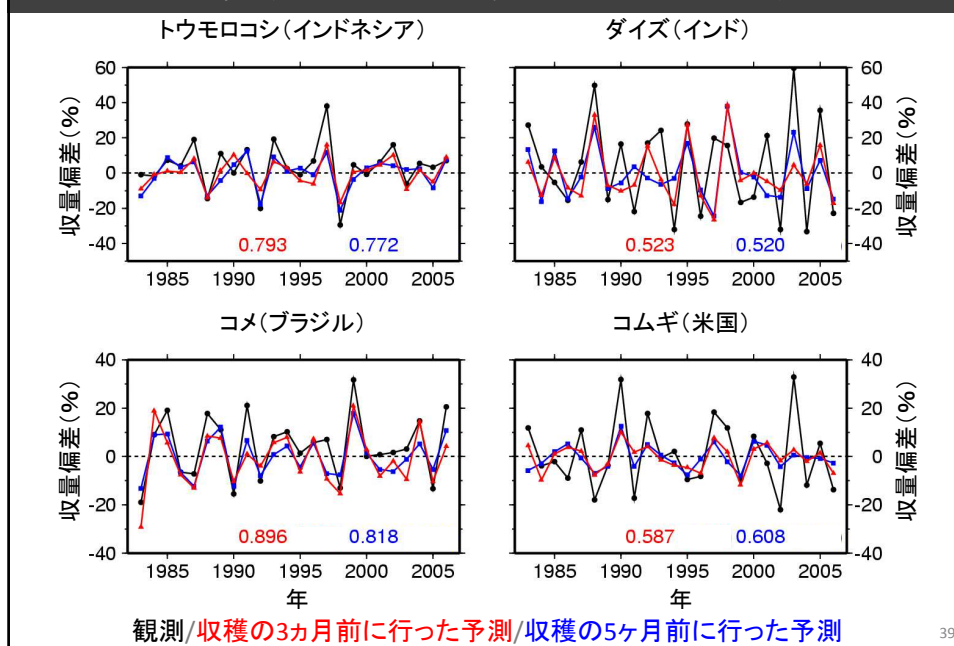
37

世界平均収量の予測はコメとコムギについては可能性があるが、トウモロコシとダイズについてはこの手法では難しい



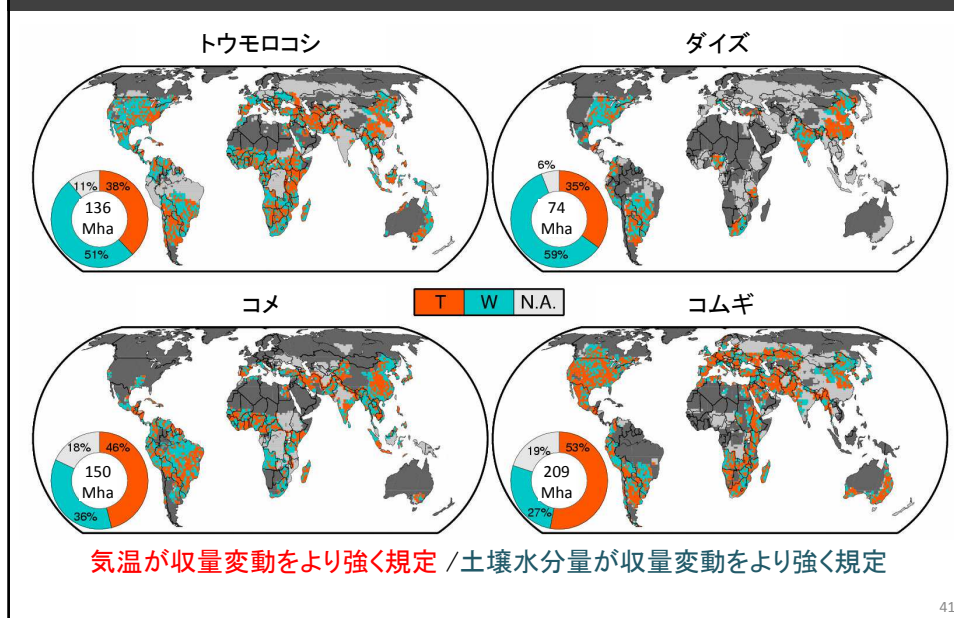
38

なお、トウモロコシとダイズについても
収量変動予測が有用と見込まれる地域はある



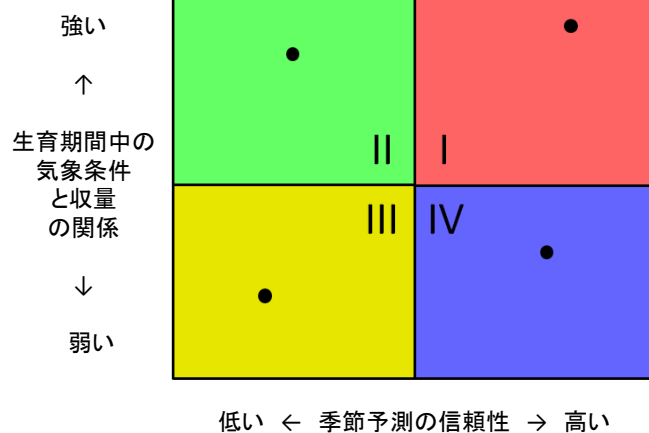
なぜ、作物間で収量変動予測の
信頼性に差があるのだろうか？

世界全体ではトウモロコシとダイズの収量変動は
気温より土壌水分に強く規定されている



気温と土壌水分量による
グローバルな収量変動予測の
信頼性を向上させるためには
どうしたらよいだろうか？

収量変動予測の信頼性の区分



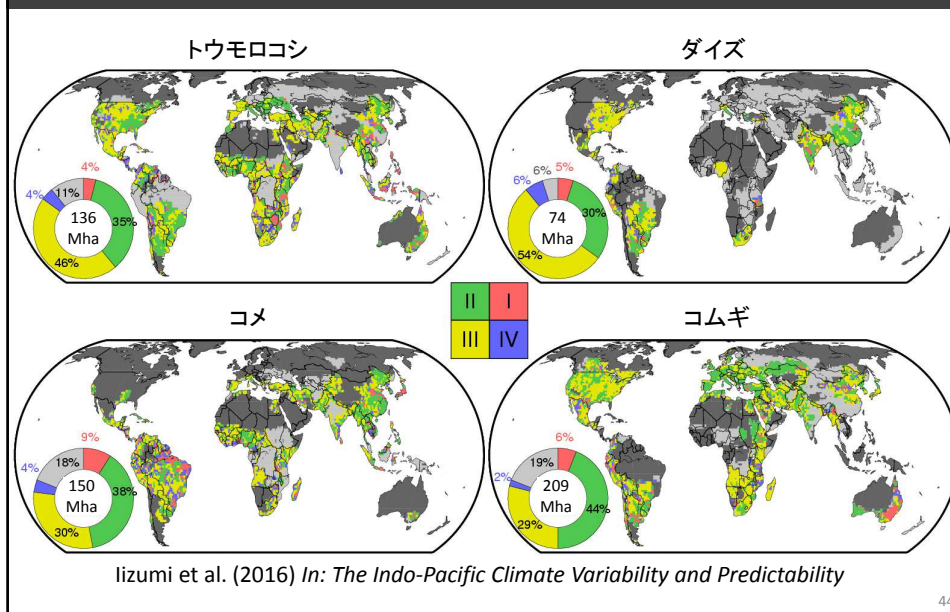
収量変動予測の信頼性 =

$f(\text{気象条件と収量の関係の強さ, 季節予測の信頼性})$

「気象条件」は、ここでは、収量変動を強く規定する単一の気象変数とする

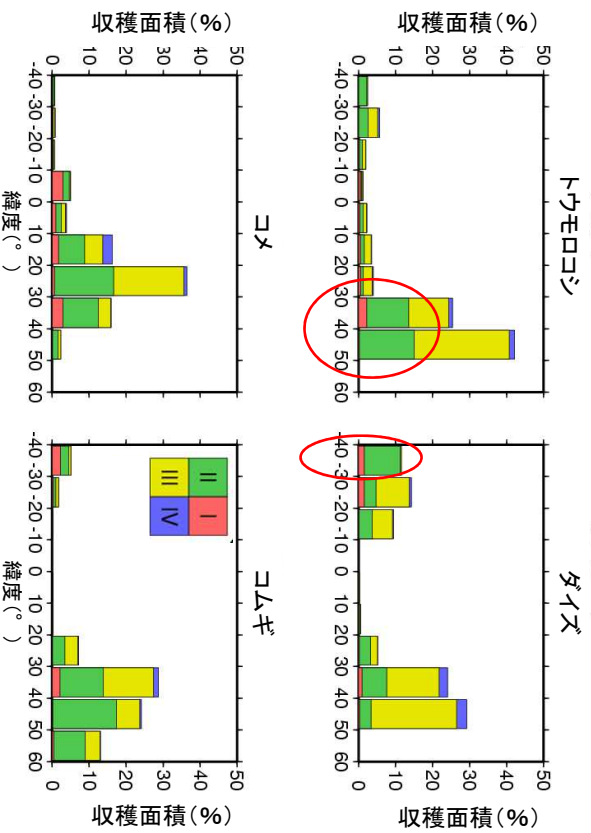
43

季節予測の信頼性が低いことが、世界規模での収量変動予測における、相対的に重要な制約要因



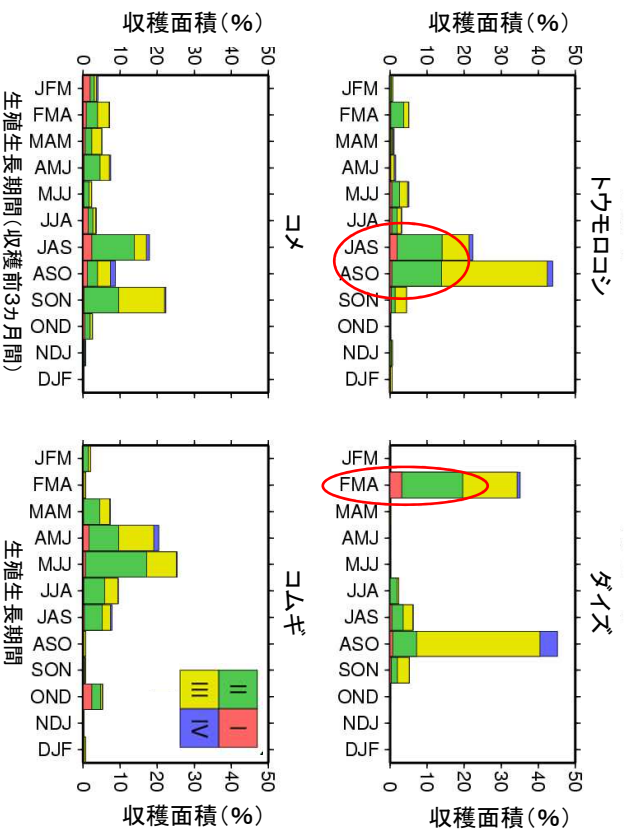
44

季節予測を改善すると大きな効果が期待できる地域



45

季節予測を改善すると大きな効果が期待できる季節



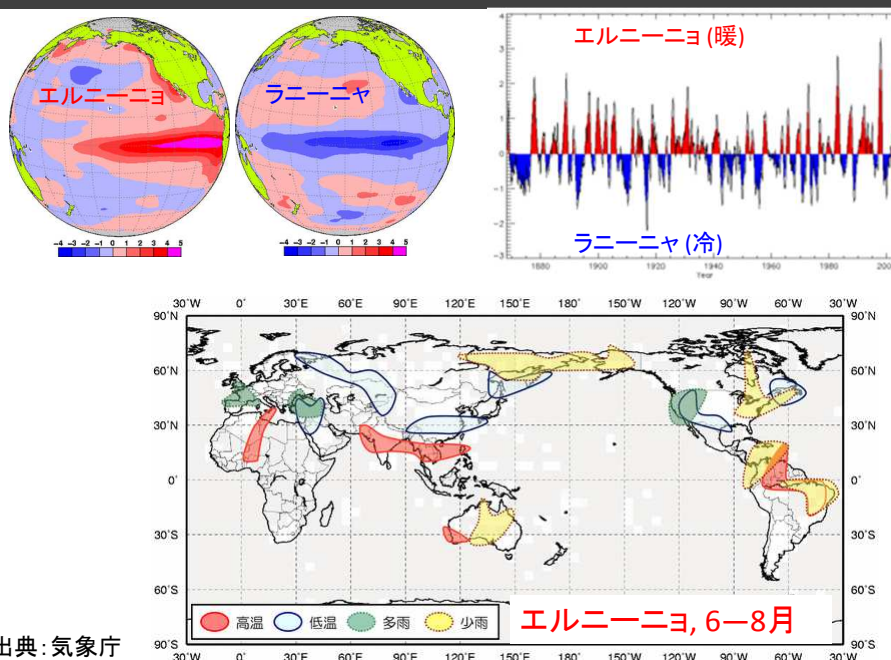
46

しかしながら、季節予測の信頼性は
一朝一夕には向上しない

収量変動と結び付けられる、
信頼性が高い季節予測情報は
他にないだろうか？

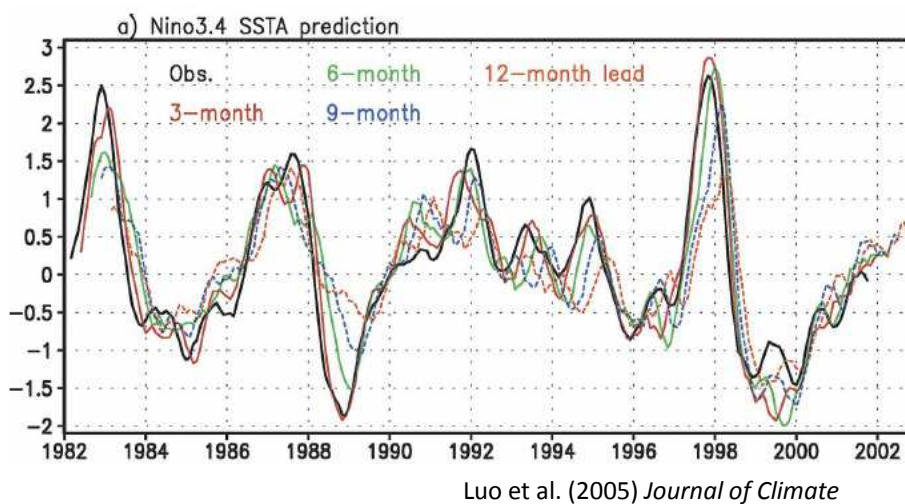
47

エルニーニョ/南方振動(ENSO)



48

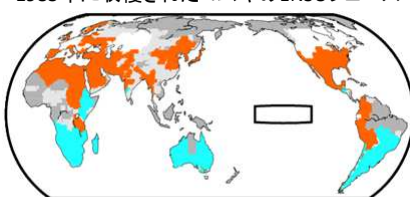
エルニーニョ/ラニーニャの発生は 12ヵ月前でも予測可能



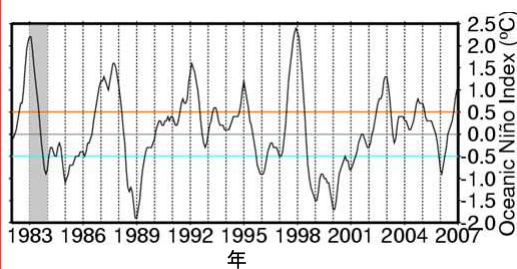
49

収量変動とエルニーニョ/ラニーニャをどう対応付けるか？

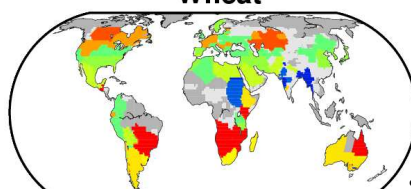
1983年に収穫されたコムギのENSOフェーズ



エルニーニョ ラニーニャ いずれでもない



Wheat



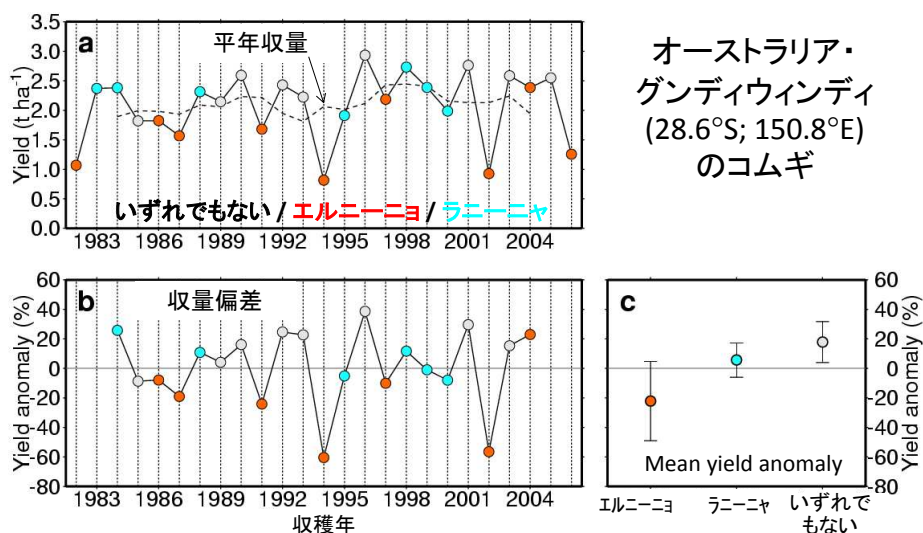
Sacks et al. (2010) *GEB*

JFM FMA MAM AMJ MJJ JJA JAS ASO SON OND NDJ DJF

生殖生長期間(収穫前3ヵ月間)

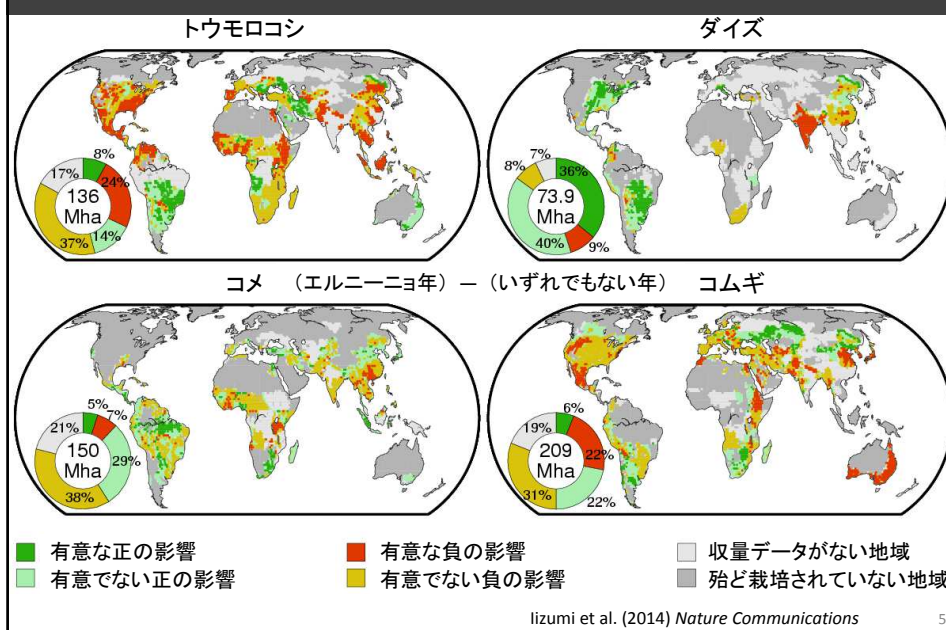
50

世界のいくつかの地域の収量はエルニーニョ/ラニーニャと良く対応することが良く知られている



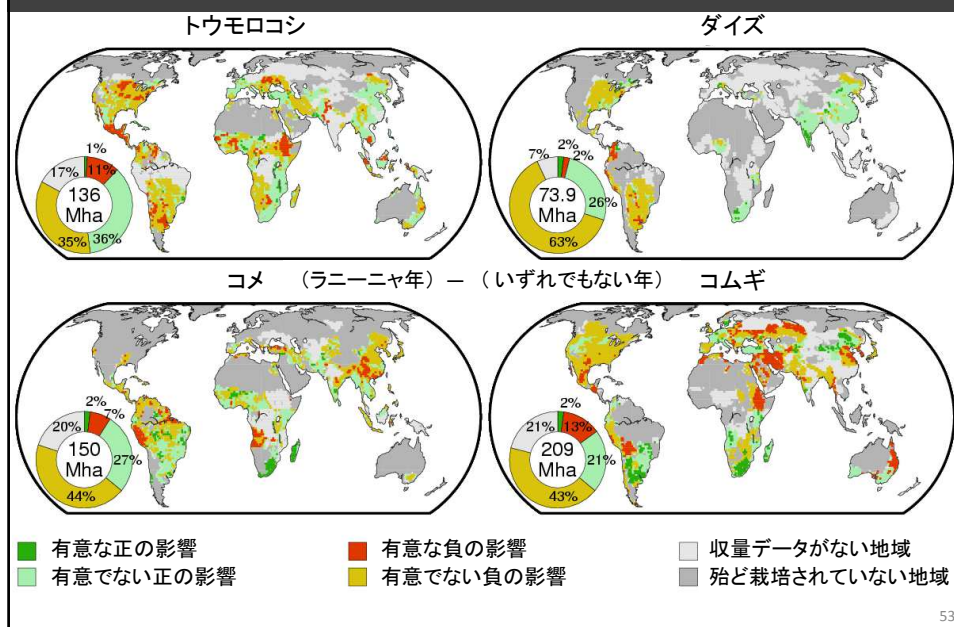
51

エルニーニョによる有意な負(正)の収量影響は世界の収穫面積の7—24%(5—36%)の地域で見られる

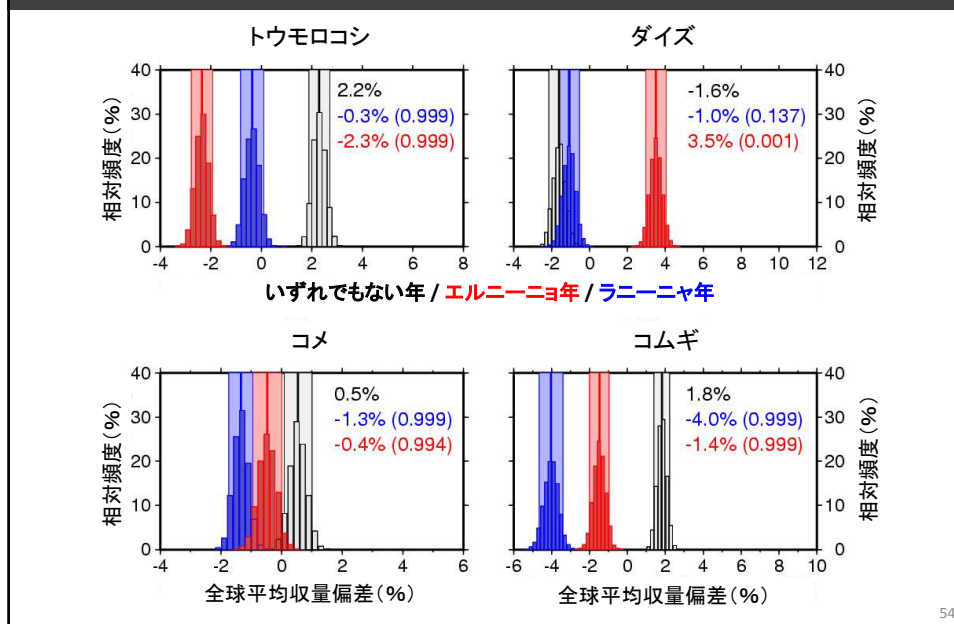


52

エルニーニョに比べて、ラニーニャによる有意な収量影響が見られる地域は正・負のいずれでも限定的

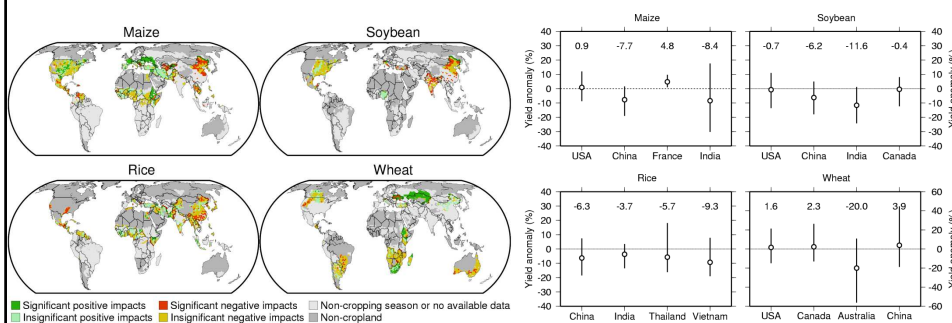


世界規模では、エルニーニョ年だけではなく、ラニーニャ年にも警戒が必要



海外食料需給レポート(月次)に予測を寄稿

- 2014年6月時点で気象庁などがエルニーニョの発生を予測
- 2014年7月に、2014年秋収穫の作物を対象とする、収穫1～6ヶ月前の収量変動予測情報を提供

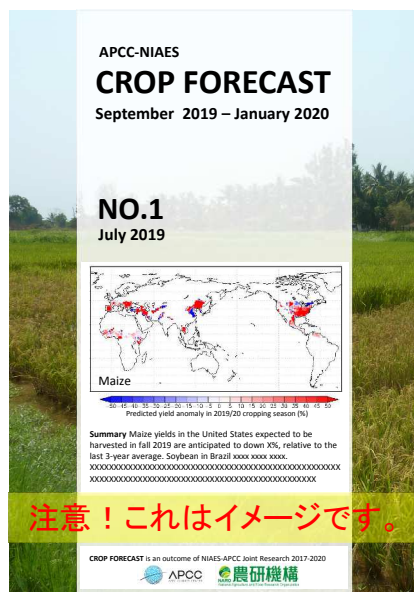


記事は以下からダウンロード可能

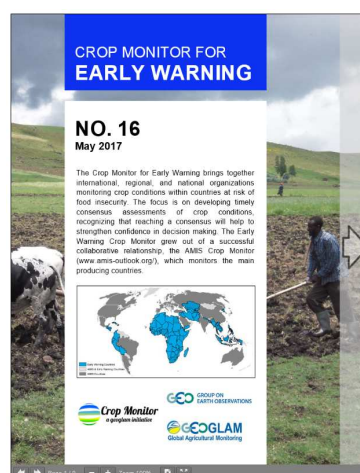
http://www.maff.go.jp/j/zyukyu/jki/j_rep/monthly/201407/pdf/21_monthly_topics_1.pdf

55

目標



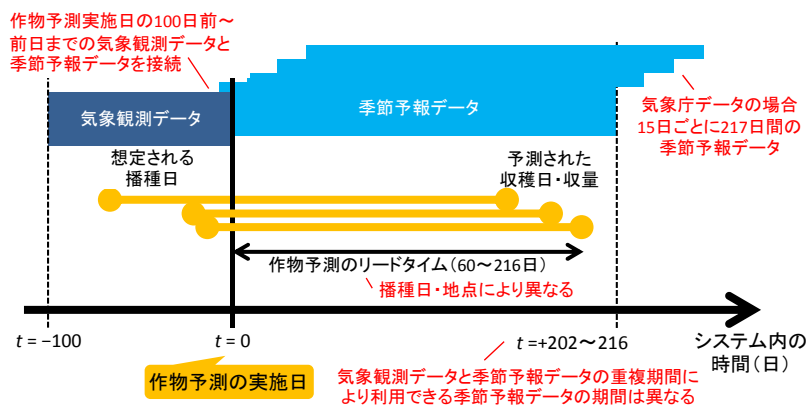
GEOGLAM CROP MONITOR



<https://cropmonitor.org/index.php/2017/05/04/crop-monitor-for-early-warning-may-2017/>

56

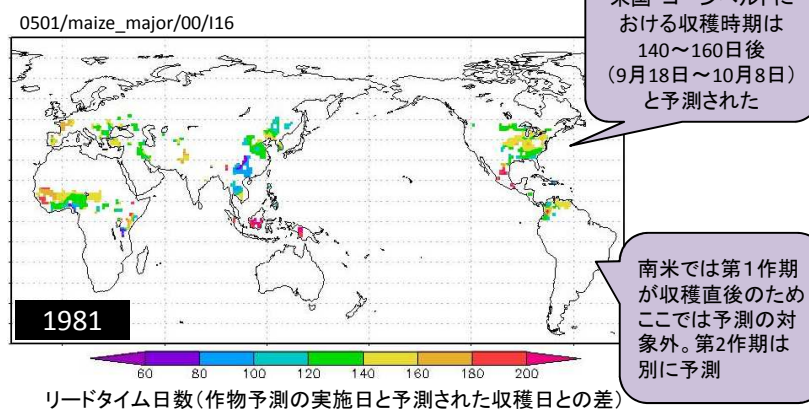
全球作物収量変動予測システム(プロトタイプ)



平成27年度 農環研法人プロ
「全球・主要作物を対象とする作物生育・収量変動予測システムのプロトタイプの開発」

57

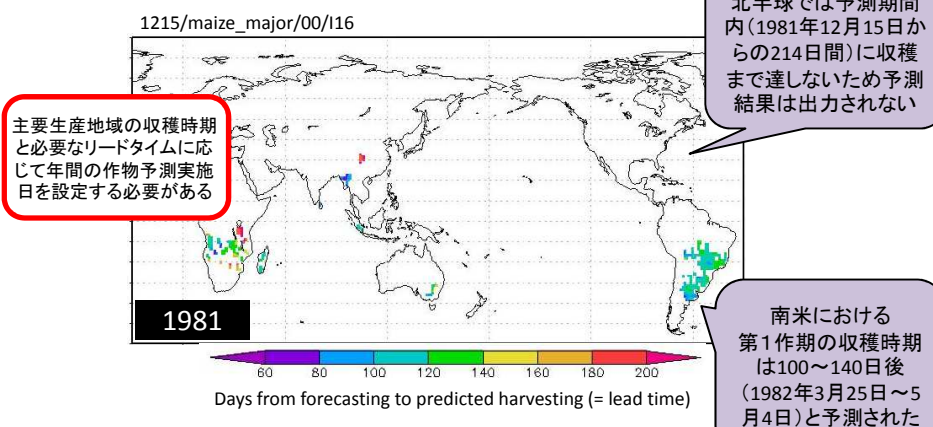
5月1日に実施したトウモロコシ予測



平成27年度 農環研法人プロ

58

12月15日に実施したトムコロシ予測

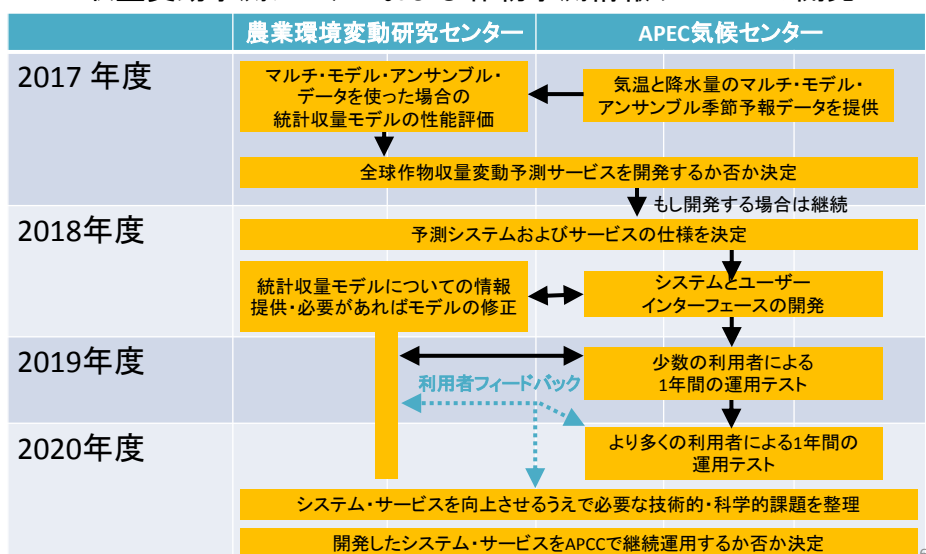


平成27年度 農環研法人プロ

59

APEC気候センターとの共同研究

季節予測を利用した世界の食料機関を対象とする全球作物収量変動予測システムおよび作物予測情報サービスの開発



60

より信頼性の高い収量変動予測を目指して①

- 複数の気象センターの季節予測データを利用(マルチ・モデル・アンサンブル)

- 予測スキルあり(ROCスコア ≥ 0.6)
- 予測スキルなし(ROCスコア < 0.6)
- 収量データなし

ROCスコア

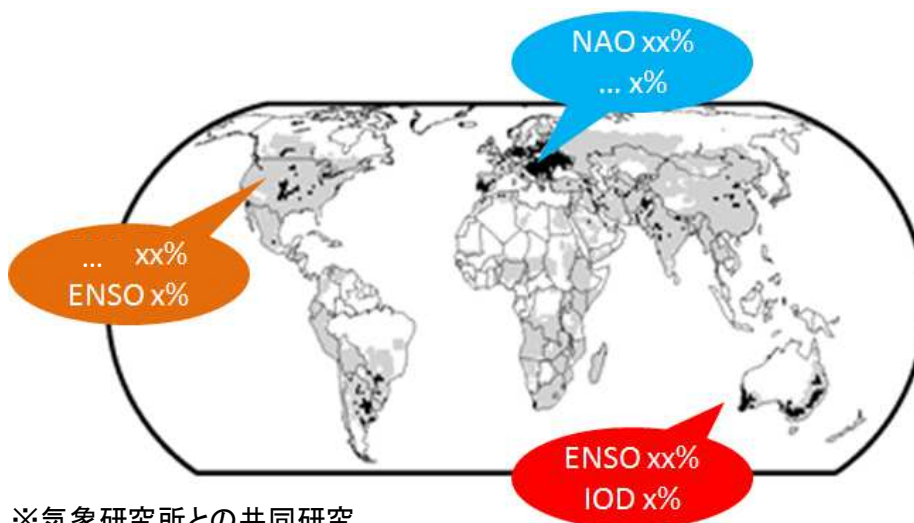
lizumi et al. (in review)

※APEC気候センターとの共同研究

61

より信頼性の高い収量変動予測を目指して②

- 気温・降水量とではなく、海洋・大気指標と収量偏差を結び付けて、収量変動予測のリードタイムを今よりも延長できないか？

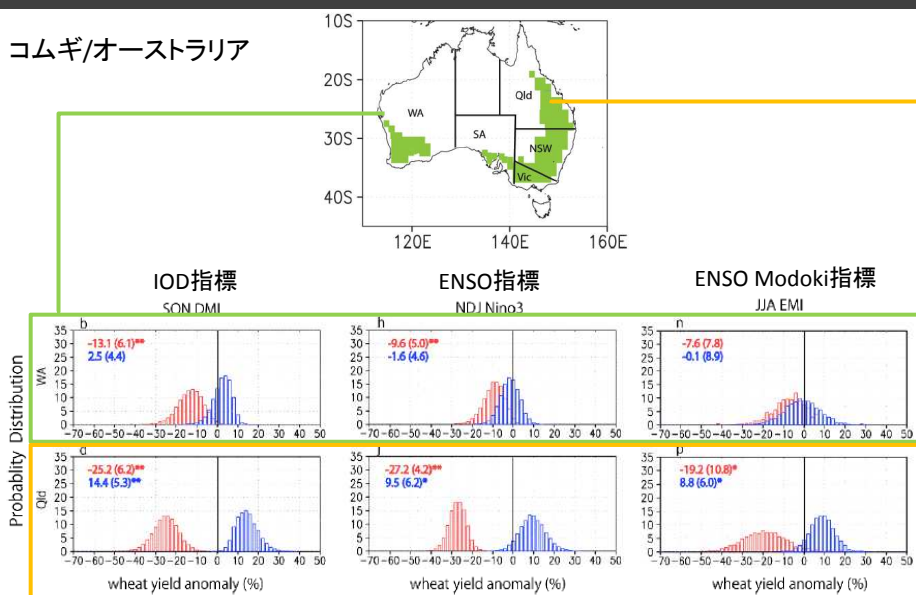


※気象研究所との共同研究

62

収量変動に寄与する海洋・大気振動の地域差①

コムギ/オーストラリア

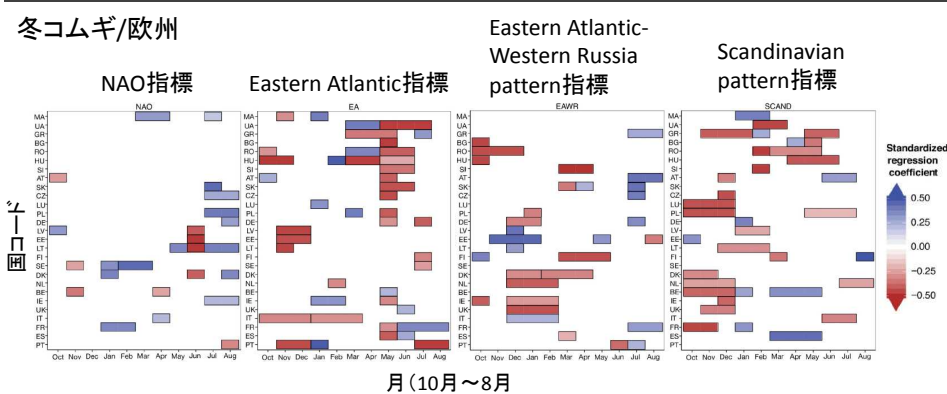


Yuan & Yamagata (2015) *Sci Rep* の Supplementary Figs. S1 & S4 を改変。

63

収量変動に寄与する海洋・大気振動の地域差②

冬コムギ/欧州



Ceglar et al. (2017) *Agric For Meteorol* の Fig. 1 を改変。

- 地域的・季節的な海洋・大気指標と収量偏差を統計収量モデリングにより直接、結び付ける研究が出始めている。
- 海洋・大気指標はリードタイムが長い場合でも予測スキルが期待できる。
- データ量が圧倒的に少なくなるため、開発途上国の気象機関がsector-specific climate indices (WMO) として扱いやすい。

64

まとめ①

- 過去の126年間に0.91℃気温が上昇し、農業生産に検出可能な影響をもたらしている。
- これまでに経験したことがない高温や強雨などに遭遇する機会が増加している
--- 新しい機会でもある
- 温室効果ガスの排出を止めても、気温上昇が止まるまでには数十年を要するため、適応は避けられない。
--- 排出削減も適応限界を超えないために重要
--- 適応技術の開発・普及への積極的な投資が不可欠
- 2050年に食料需要は2016年の1.6倍になると見込まれる。
世界の農業は、気候変動の下で、この供給目標を達成しなくてはならない。

65

まとめ②

- 経済のグローバル化により、多くの国で輸入食料への依存度が増加してきており、自国と主要輸出国の両方の生産状況を把握する必要性が高まっている。
- これまで、技術進歩により、多くの地域で収量は増加・安定化してきているが、世界の状況を継続的に監視する必要がある。
--- 農環研では全球作物データセットを開発・更新している
- 季節予測に基づく収量変動予測は、極端気象への対応、気候変動適応のいずれにも役立つ技術である。
- 農環研では、気象機関と協力して、収量変動予測サービスの開発や予測手法の高度化を進めている。

66

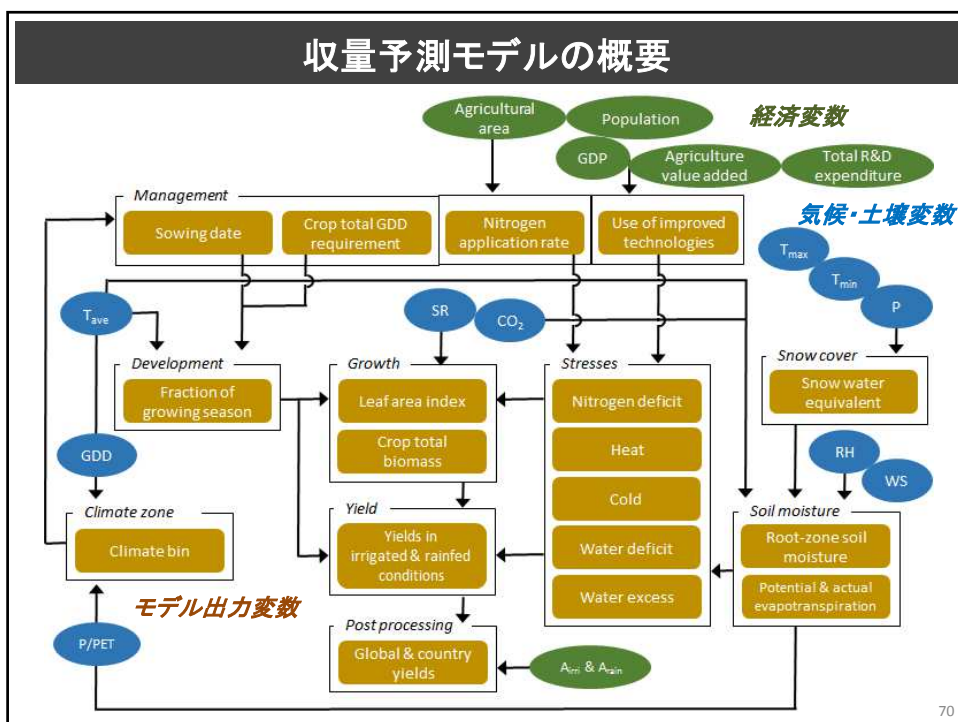
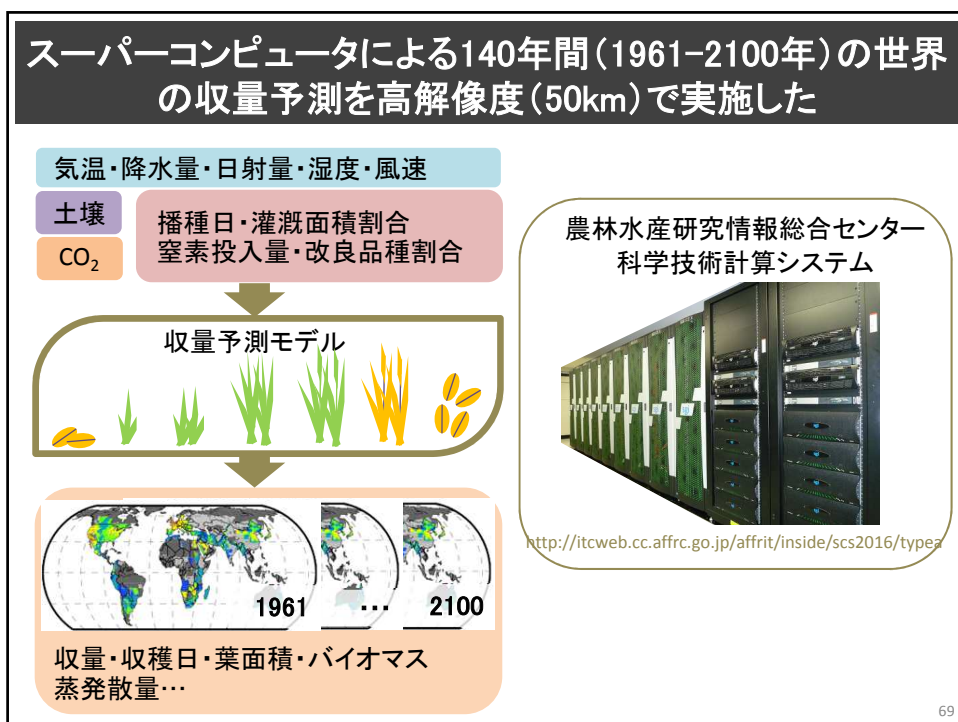
ありがとうございました

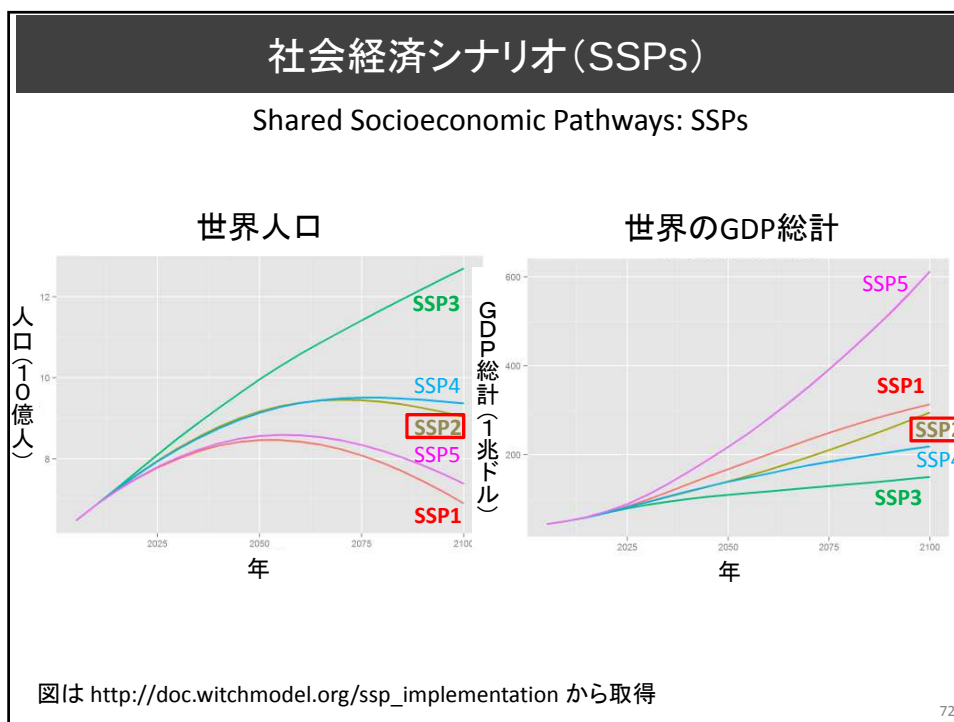
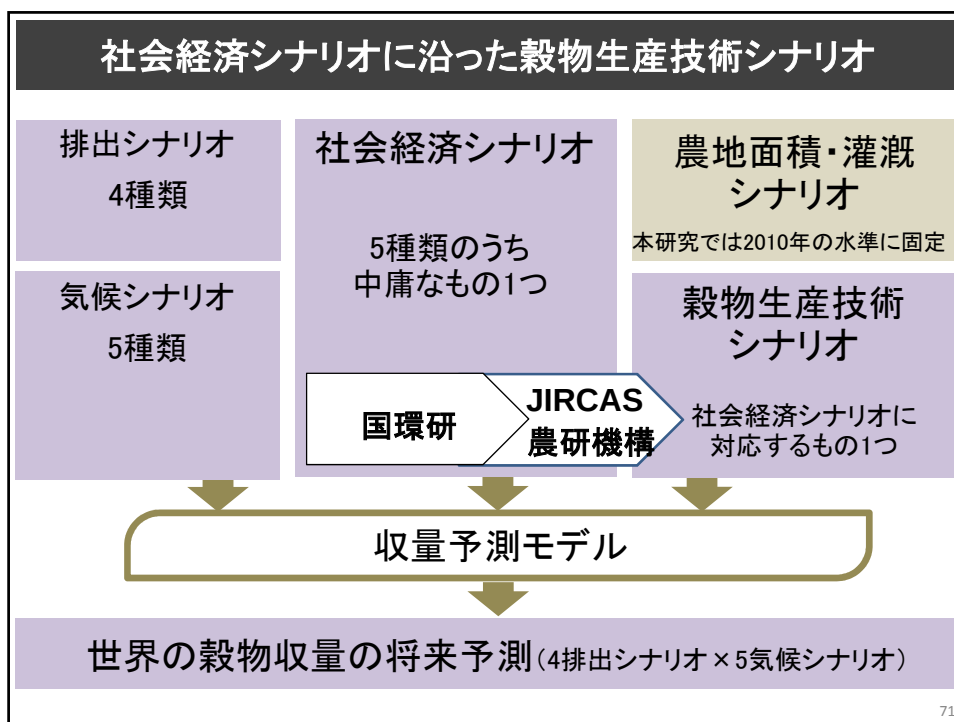


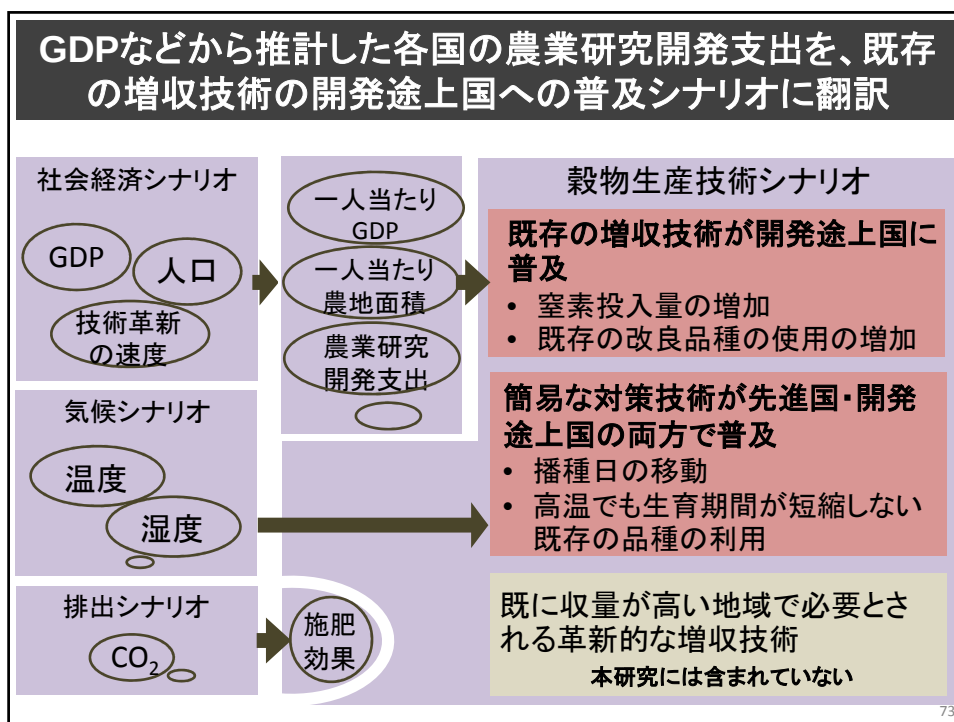
67

参考資料

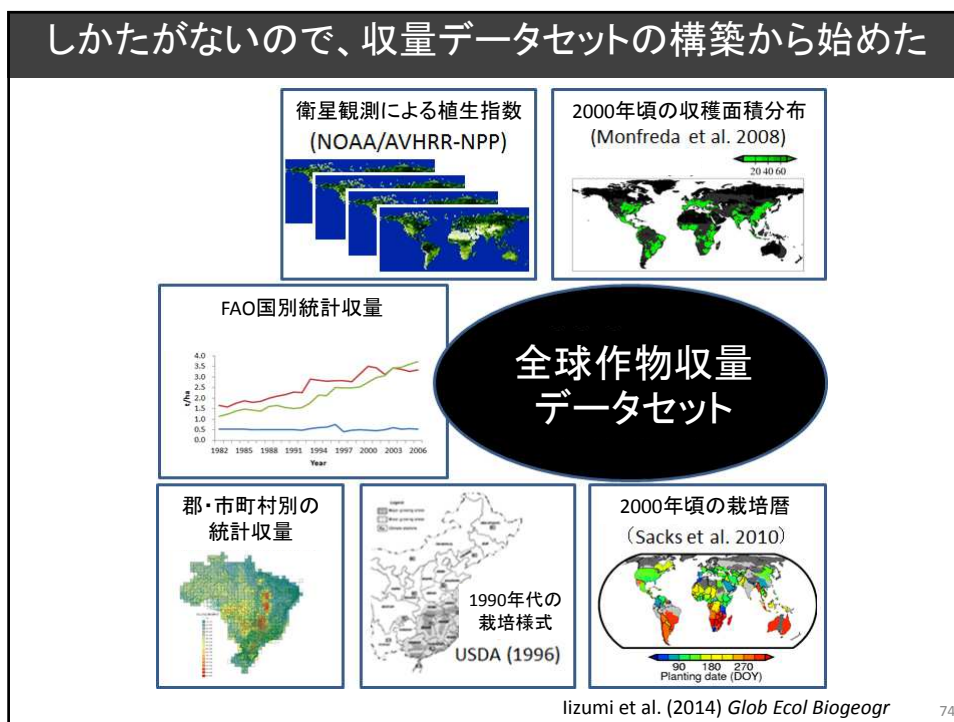
68







73



74

収量データの例

