

# ネガティブエミッションの必要性と限界

(一財)エネルギー総合工学研究所

プロジェクト試験研究部 地球環境グループ

加藤悦史

# 本日の内容

- 地球規模の炭素循環と排出シナリオ
- 炭素管理に向けた研究 – ネガティブエミッションの必要性と限界 –

## はじめに: 地球規模の炭素循環の解明

- 地球の持続可能性において極めて重要
- 国際科学会議 (ICSU) による地球環境研究のコア・プロジェクトの一つとして、地球規模の研究が進んできた
- グローバルな炭素循環にかかわる自然と人間の両方の側面とその相互作用について、自然科学と社会科学を融合した分析を実施し、国際的な炭素循環管理政策の策定に役立つ科学的理解を深めることを目的として Global Carbon Projectの研究が行われている

## “Global Carbon Budget”について

- Global Carbon Project として 2006年より毎年の全球規模の炭素循環の推計を “Global Carbon Budget” として発表
- このレポートでは、さまざまな研究成果を用い、人為活動による化石燃料起源および土地利用起源の炭素排出、大気中 CO<sub>2</sub> の増減、および海洋・陸域への排出・吸収のデータをまとめ公開
- 2012年発表のレポートより、科学的方法・データの透明性を担保するために、オープンアクセス・データジャーナル「Earth System Science Data」において「living data」として公開
- COP21開催中での2015年発表では、ネガティブエミッションのレビュー論文も同時に発表

# Global Carbon Budget 2015

**C Le Quéré** UK | **R Moriarty** UK | **RM Andrew** Norway | **JG Canadell** Australia | **S Sitch** UK | **JI Korsbakken** Norway | **P Friedlingstein** UK | **GP Peters** Norway | **RJ Andres** USA | **TA Boden** USA | **RA Houghton** USA | **JI House** UK | **RF Keeling** USA | **P Tans** USA | **A Arneth** Germany | **DCE Bakker** UK | **L Barbero** USA | **L Bopp** France | **J Chang** France | **F Chevallier** France | **LP Chini** USA | **P Ciais** France | **M Fader** France | **RA Feely** USA | **T Gkritzalis** Belgium | **I Harris** UK | **J Hauck** Germany | **T Ilyina** Germany | **AK Jain** USA | **E Kato** Japan | **V Kitidis** UK | **K Klein** Netherlands | **C Koven** USA | **P Landschützer** Switzerland | **SK Lauvset** Norway | **N Lefèvre** France | **A Lenton** Australia | **ID Lima** USA | **N Metzl** France | **F Millero** USA | **DR Munro** USA | **A Murata** Japan | **JEMS Nabel** Germany | **S Nakaoka** Japan | **Y Nojiri** Japan | **K O'Brien** USA | **A Olsen** Norway | **T Ono** Japan | **FF Pérez** Spain | **B Pfeil** Norway | **D Pierrot** USA | **B Poulter** USA | **G Rehder** Germany | **C Rödenbeck** Germany | **S Saito** Japan | **U Schuster** UK | **J Schwinger** Norway | **R Séférian** France | **T Steinhoff** Germany | **BD Stocker** Switzerland | **AJ Sutton** USA | **T Takahashi** USA | **B Tilbrook** Australia | **IT van der Laan-Luijkx** Netherlands | **GR van der Werf** Netherlands | **S van Heuven** Netherlands | **D Vandemark** USA | **N Viovy** France | **A Wiltshire** UK | **S Zaehle** Germany | **N Zeng** USA | **R Jackson** USA | **P Smith** UK | **SJ Davis** USA | **F Creutzig** Germany | **S Fuss** Germany | **J Minx** Germany | **B Gabrielle** France | **A Cowie** Australia | **E Kriegler** Germany | **DP van Vuuren** Netherlands | **J Rogelj** Switzerland & Austria | **J Milne** USA | **D McCollum** Austria | **V Krey** Austria | **G Shrestha** USA | **T Gasser** France | **A Grübler** Austria | **WK Heidug** Saudi Arabia | **M Jonas** Austria | **CD Jones** UK | **F Kraxner** Austria | **E Littleton** UK | **J Lowe** UK | **JR Moreira** Brazil | **N Nakicenovic** Austria | **M Obersteiner** Austria | **A Patwardhan** USA | **M Rogner** Austria | **E Rubin** USA | **A Sharifi** Japan | **A Torvanger** Norway | **Y Yamagata** Japan | **J Edmonds** USA | **C Yongsung** Seoul | **S Soloman** USA

**Science Committee** | **Atlas Engineers at LSCE, France (not already mentioned above), France**  
**P Peylin** | **A Peregon** | **P Brockmann** | **V Maigné** | **P Evano**

**Atlas Designers WeDoData, France** | **Infographic designers UK, France & Sweden**  
**K Bastien** | **Brice Terdjman** | **V Le Jeune** | **A Vessière** | **Nigel Hawtin** | **BNPParibas Design Team** | **azote**

**Communications Team**

**A Minns** | **O Gaffney** | **L Sayer** | **L Horton**

## 本発表のデータは billion tonnes CO<sub>2</sub> (GtCO<sub>2</sub>) で表示

1 Gigatonne (Gt) = 1 billion tonnes =  $1 \times 10^{15}$ g = 1 Petagram (Pg)

1 kg carbon (C) = 3.664 kg carbon dioxide (CO<sub>2</sub>)

1 GtC = 3.664 billion tonnes CO<sub>2</sub> = 3.664 GtCO<sub>2</sub> = 36.64 億tCO<sub>2</sub>

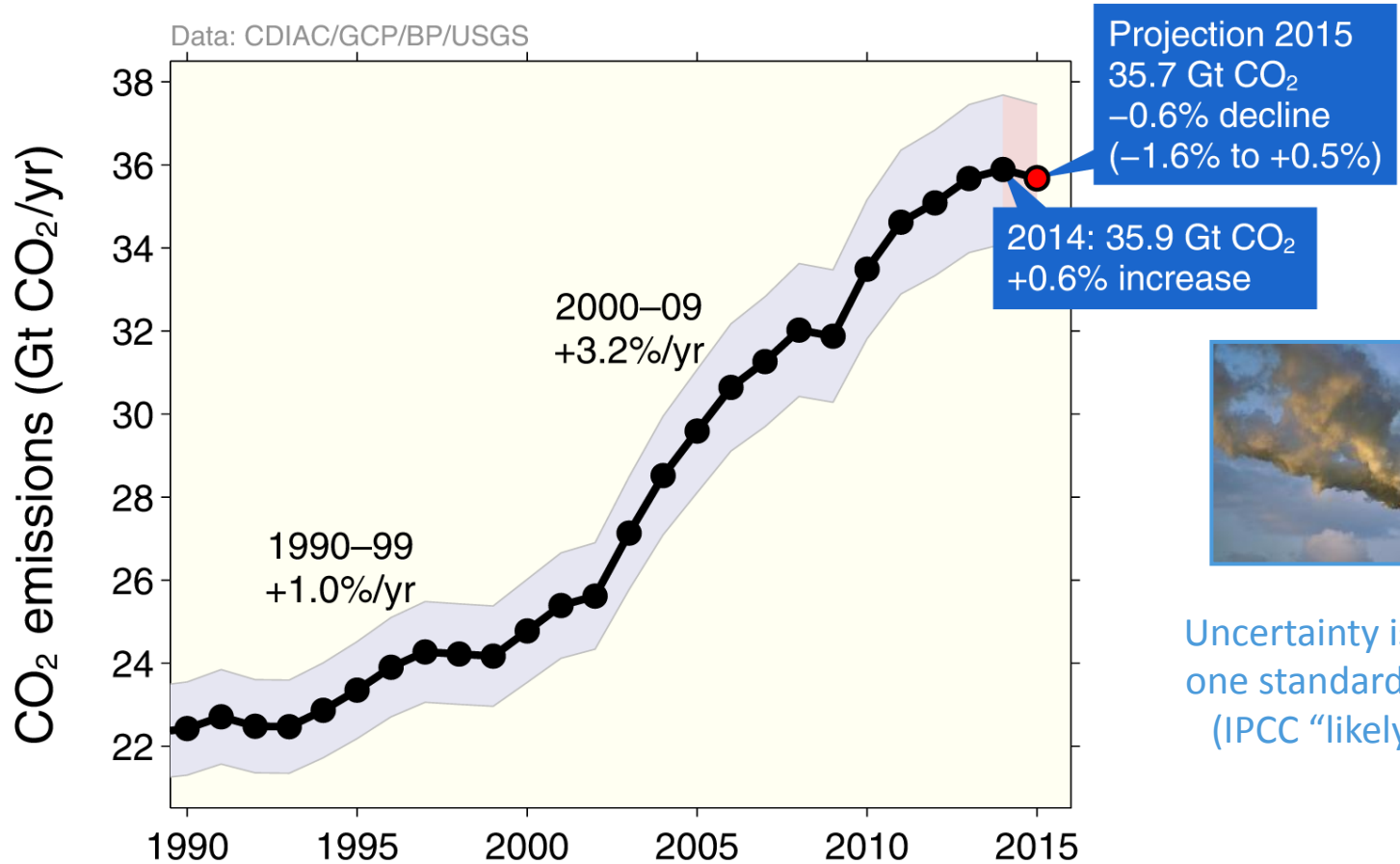
### Disclaimer

The Global Carbon Budget and the information presented here are intended for those interested in learning about the carbon cycle, and how human activities are changing it. The information contained herein is provided as a public service, with the understanding that the Global Carbon Project team make no warranties, either expressed or implied, concerning the accuracy, completeness, reliability, or suitability of the information.

# 化石燃料および産業からの排出

2014年の全球での化石燃料および産業からの排出量:  $35.9 \pm 1.8$  GtCO<sub>2</sub> in 2014, 1990年比で60%増加

● 2015年予測値:  $35.7 \pm 1.8$  GtCO<sub>2</sub>, 1990年比で59%増加

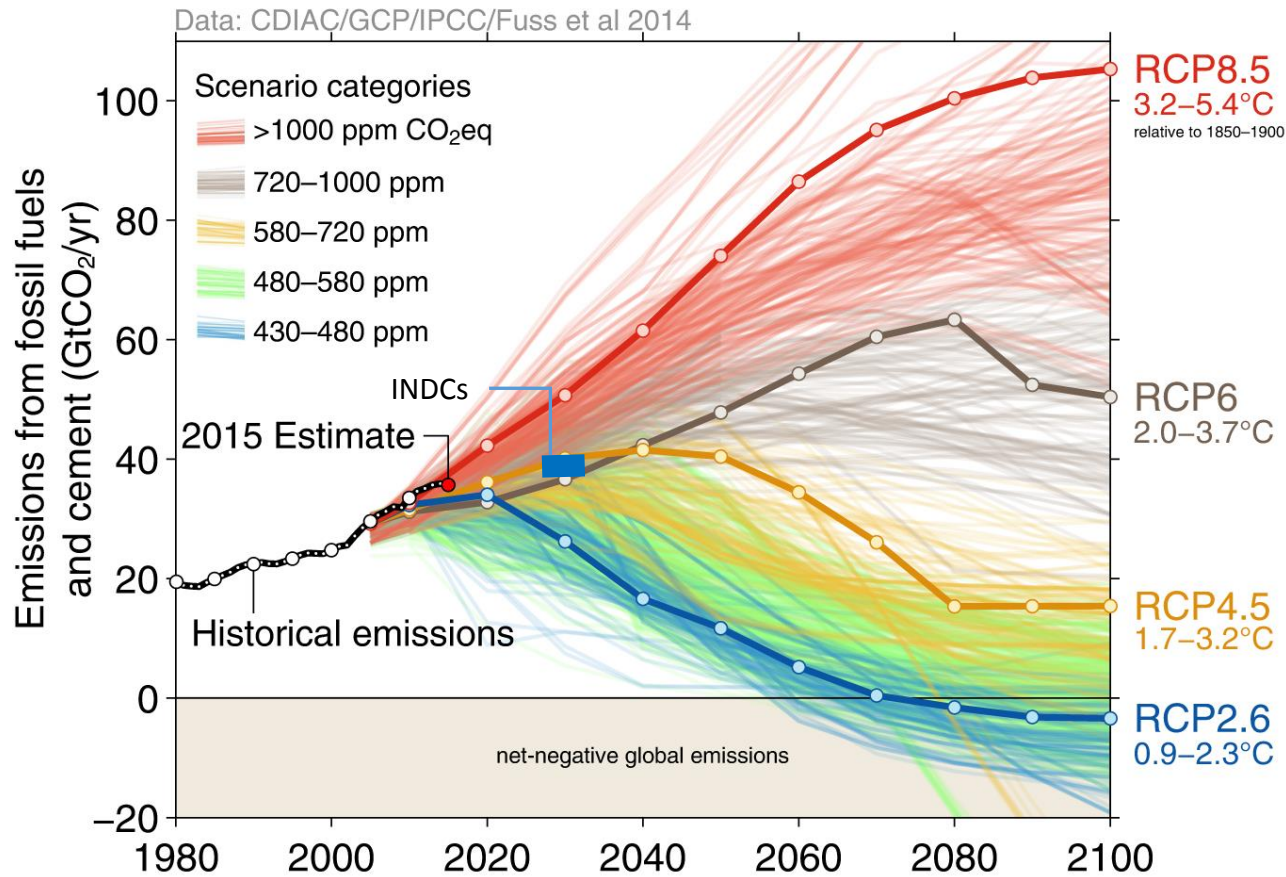


Uncertainty is  $\pm 5\%$  for one standard deviation (IPCC "likely" range)



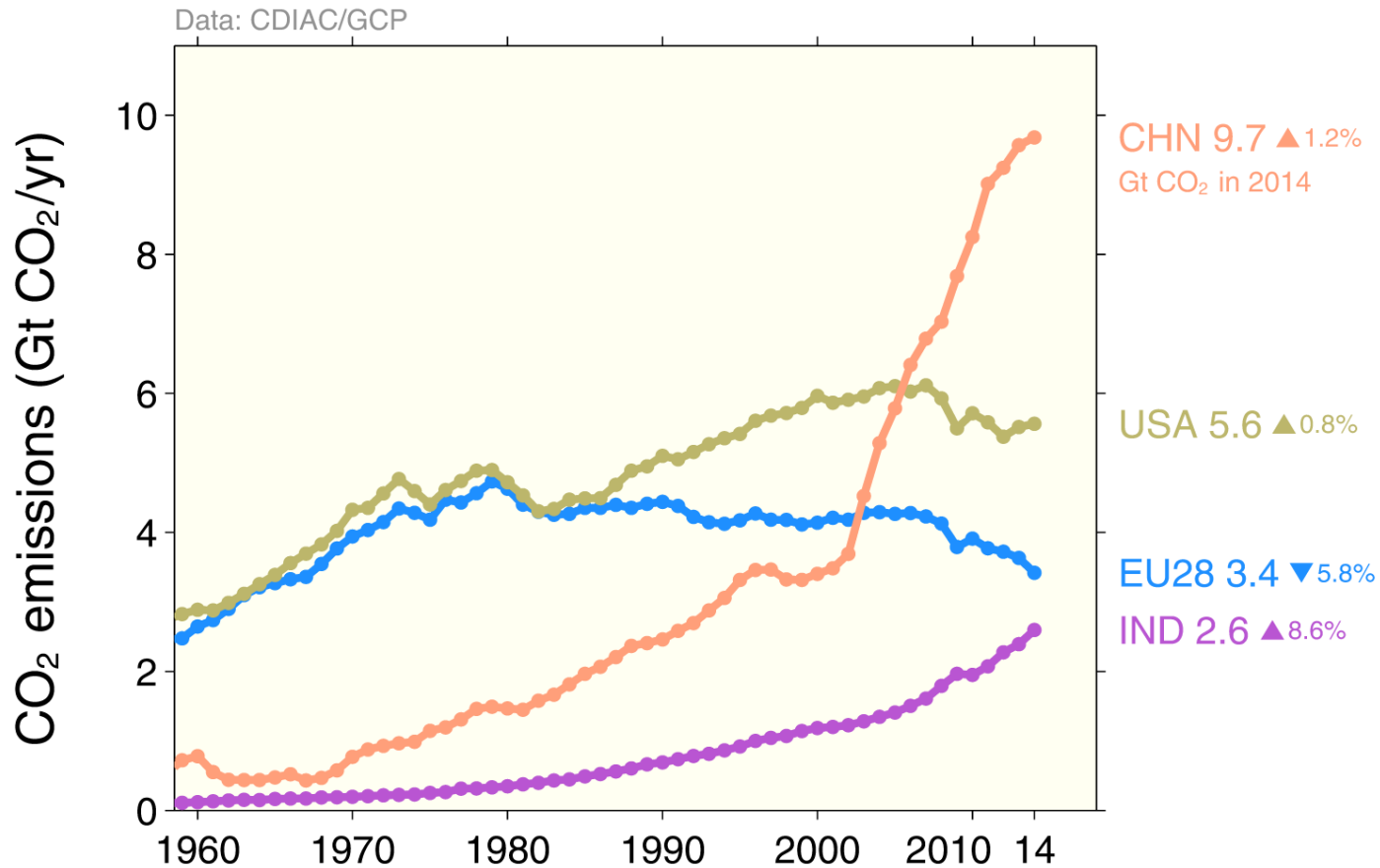
# これまでの排出量と排出シナリオ

COP21での約束草案 (INDCs) に基づく排出経路は、最悪な気候変化 (赤) を避けることは出来るが、多くの分析によると約3°Cの上昇となる (茶)



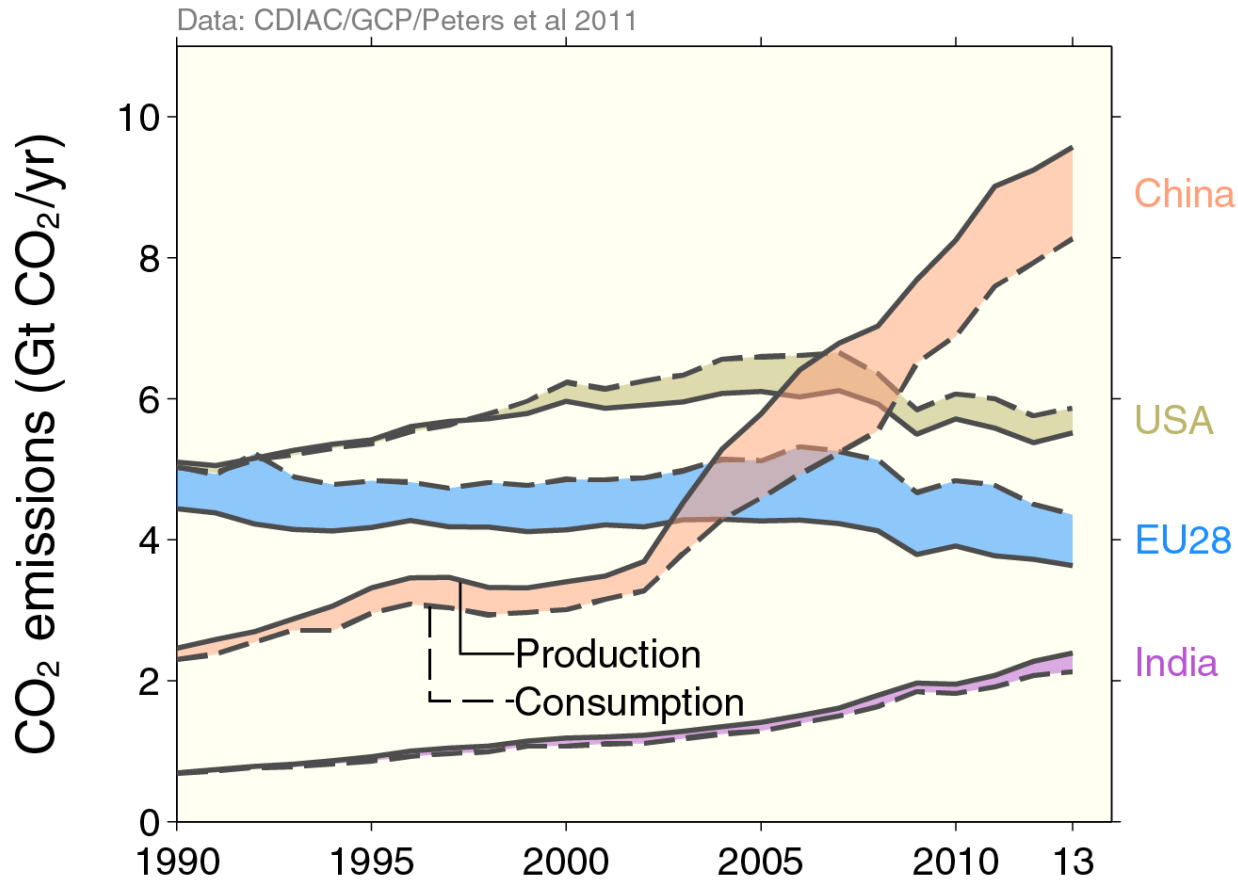
# 上位排出国

2014年において、上位4地域の排出で世界全体の59%を占める  
 中国 (27%), 米国 (15%), EU28 (10%), インド (7%)

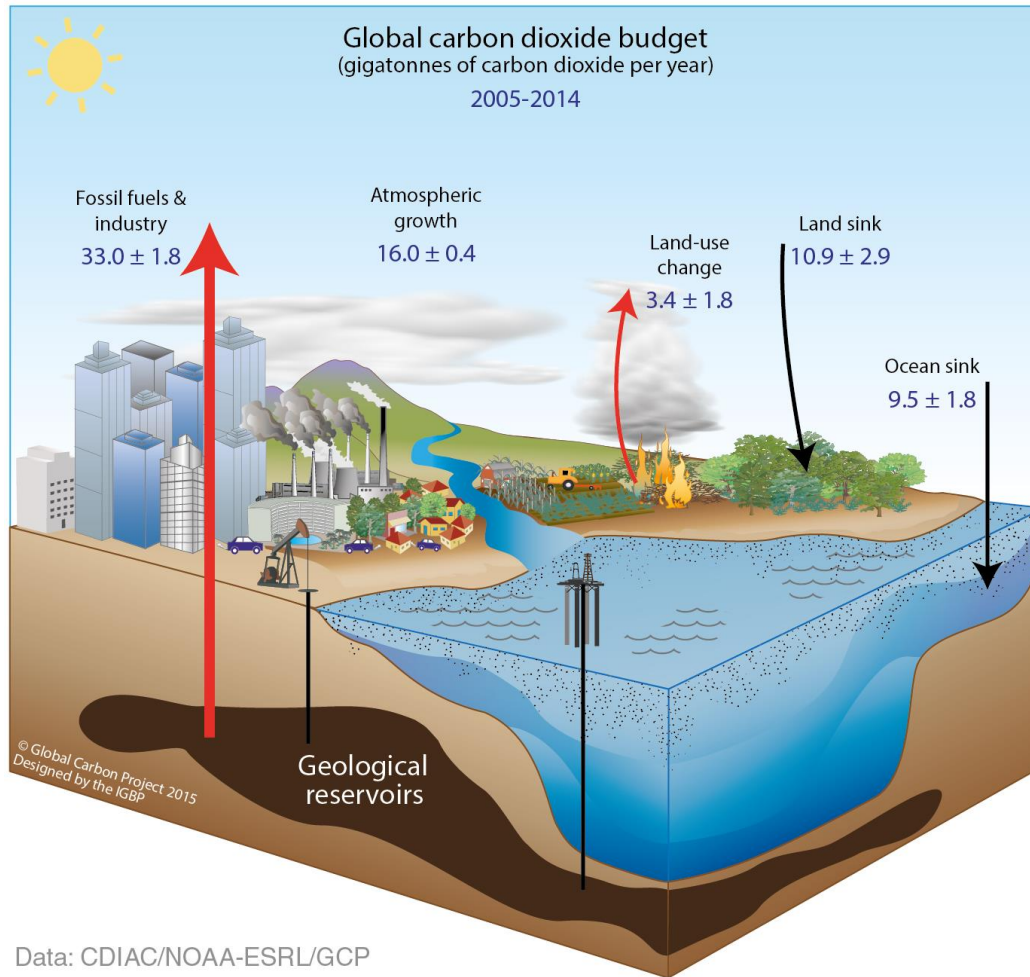


# 消費ベースの排出 (carbon footprint)

財とサービスの消費へ排出を分配することにより、  
排出の要因に関する違った見方が可能

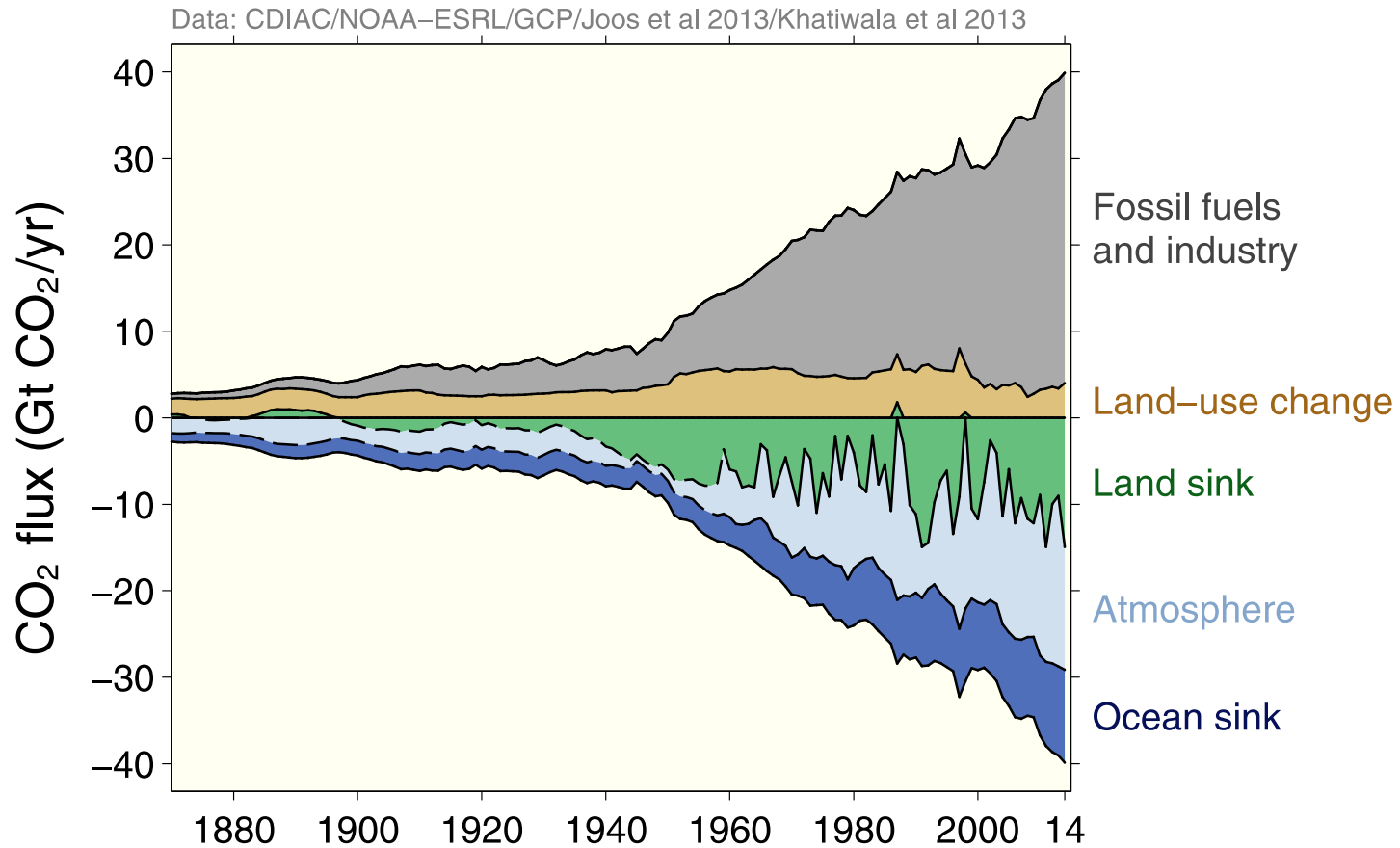


## 人類の活動による炭素循環への攪乱 2005-2014年の10年間全球平均 (GtCO<sub>2</sub>/yr)



# 全球レベルでの炭素収支

化石燃料、産業、土地利用変化による炭素排出は、大気への残留に加え陸および海洋への吸収とバランスする



## 1870年からの累積でみた全球炭素収支におけるそれぞれの内訳

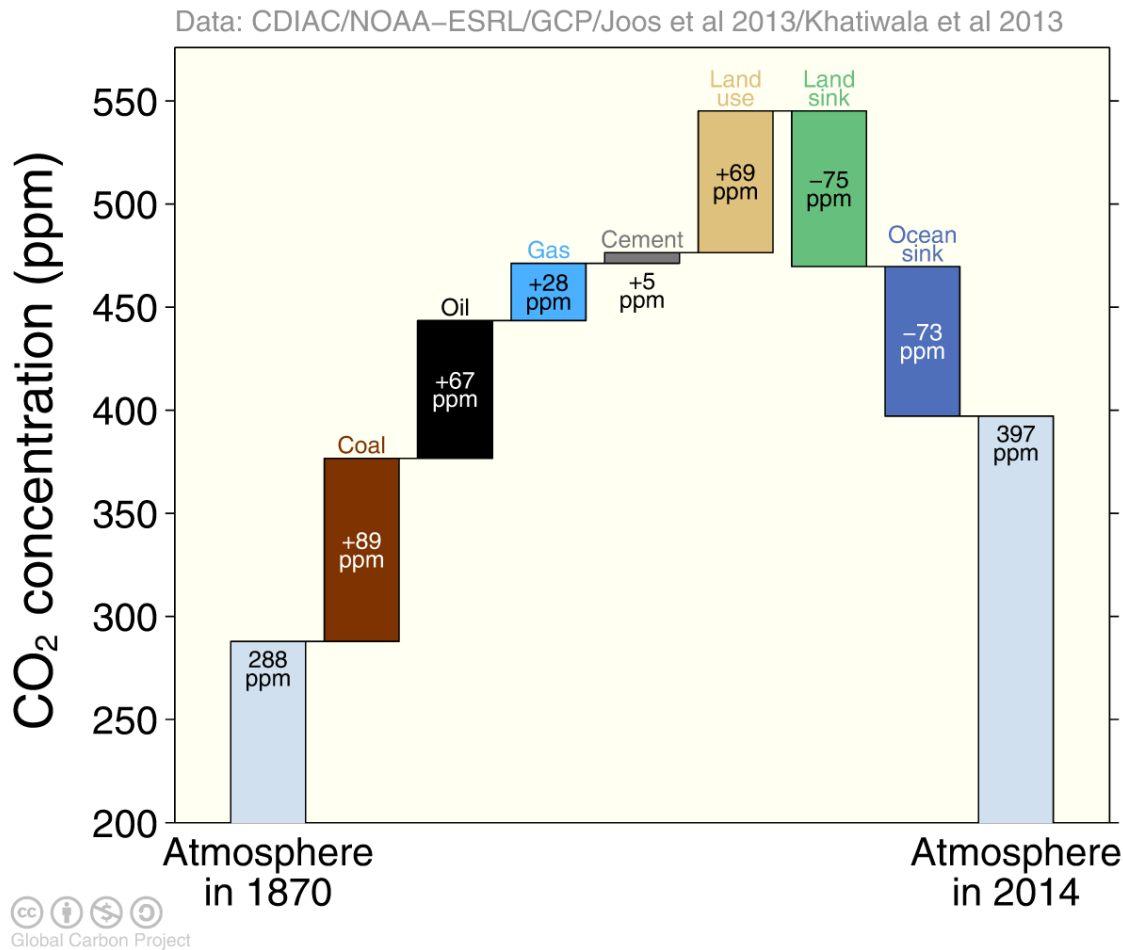
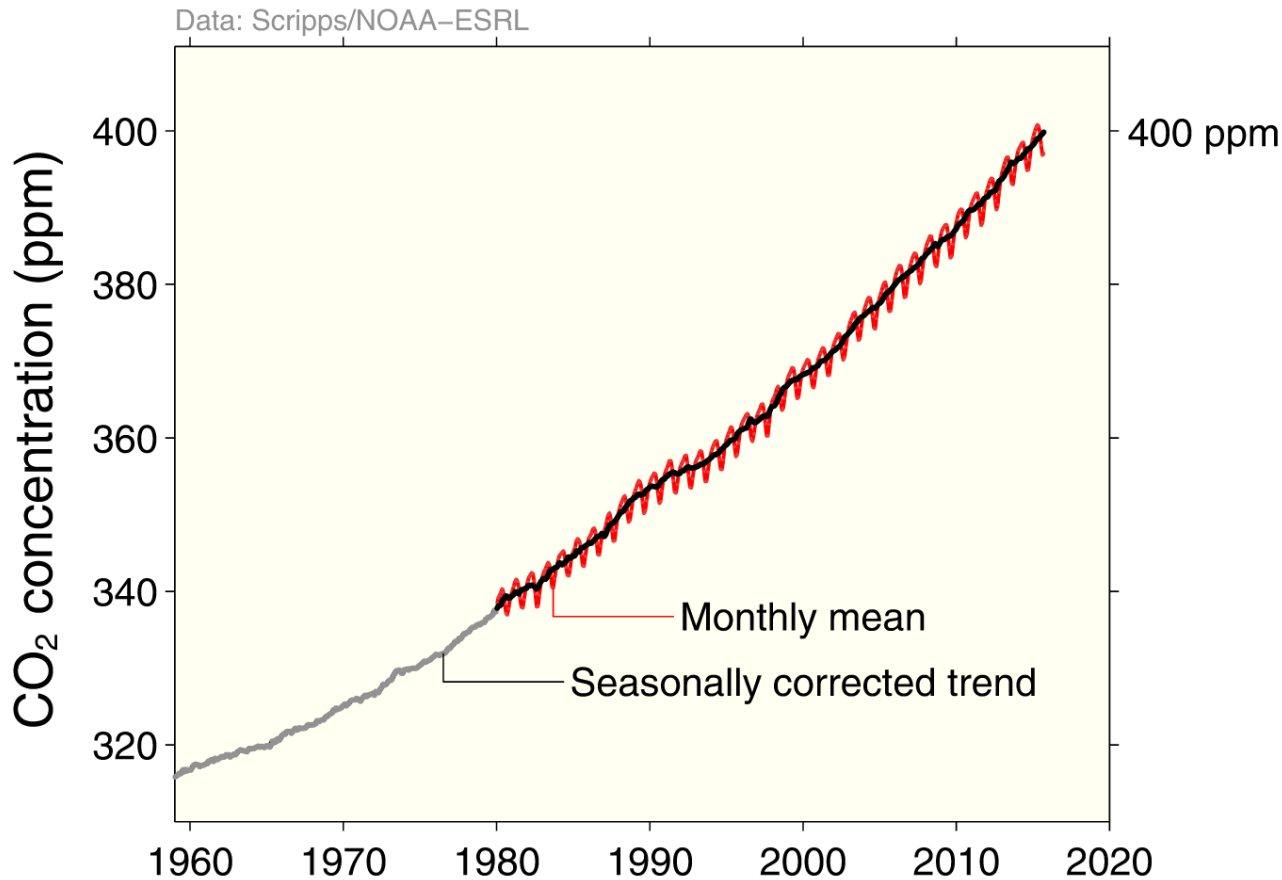


Figure concept from [Shrink That Footprint](#)

Source: [CDIAC](#); [NOAA-ESRL](#); [Houghton et al 2012](#); [Giglio et al 2013](#); [Joos et al 2013](#); [Khatiwala et al 2013](#); [Le Quéré et al 2015](#); [Global Carbon Budget 2015](#)

全球のCO<sub>2</sub>濃度は1750年に約277ppmであったものが2014年では397ppm (43%増)  
 マウナ・ロアでの季節性を補正した月平均値は2015年3月に初めて400ppmを超えた



# 人為CO2排出の行方 (2005-2014年平均)

33.0 ± 1.8 GtCO<sub>2</sub>/yr 91%



**排出**



3.4 ± 1.8 GtCO<sub>2</sub>/yr 9%

16.0 ± 0.4 GtCO<sub>2</sub>/yr  
44%



**分割**

10.9 ± 2.9 GtCO<sub>2</sub>/yr  
30%  
Calculated as the residual  
of all other flux components

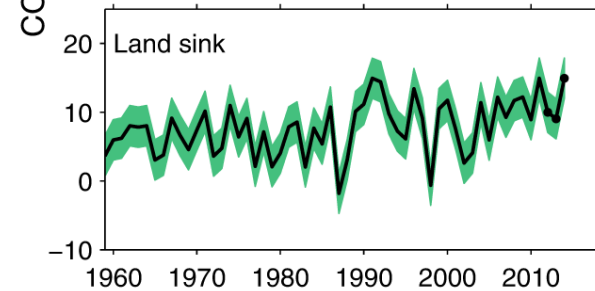
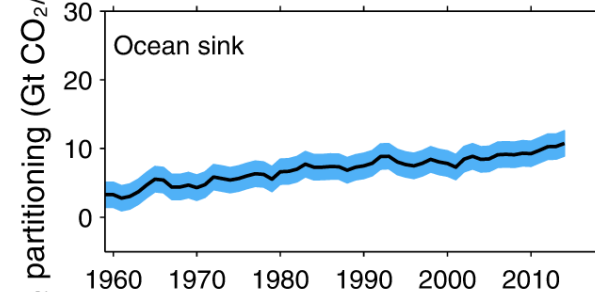
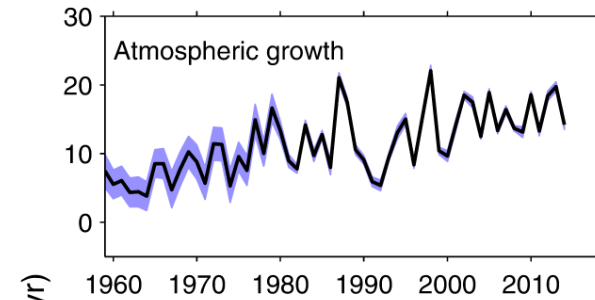
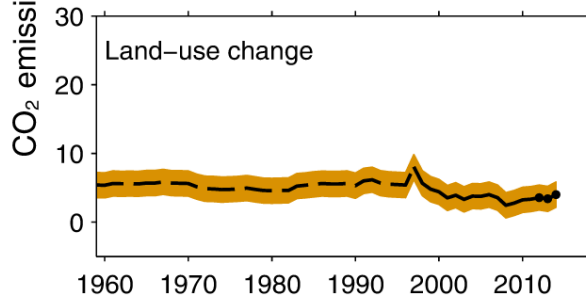
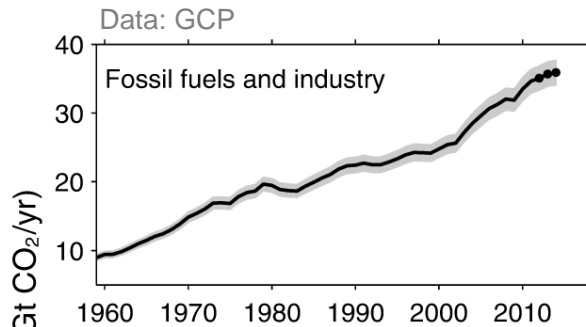


9.5 ± 1.8 GtCO<sub>2</sub>/yr  
26%

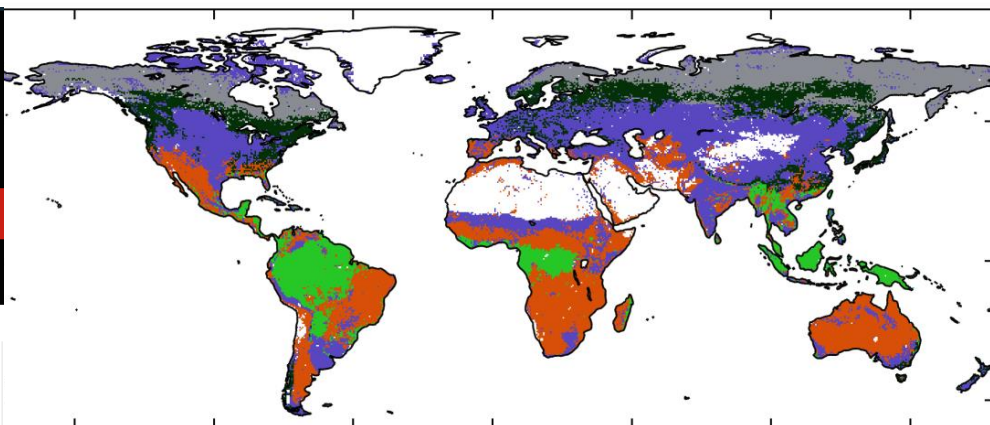
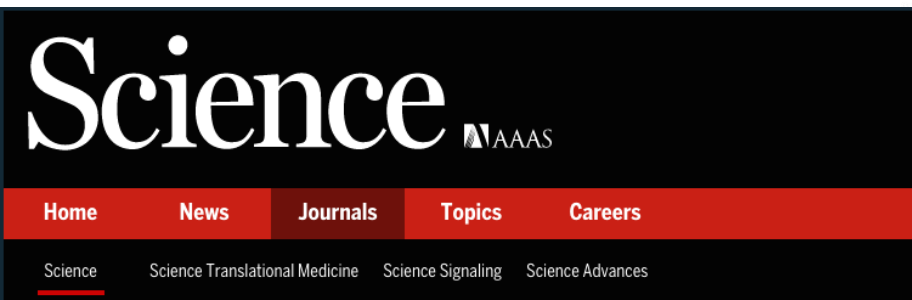




現時点までは排出量の増加とともに吸収量も増加している。しかし今後の気候変化が炭素循環に影響を与え大気中CO<sub>2</sub>の増加を悪化させる可能性がある



# 陸域炭素循環における生態系の役割 —特に半乾燥域の生態系について—



Ahlstrom et al. 2015

SHARE

REPORT

## The dominant role of semi-arid ecosystems in the trend and variability of the land CO<sub>2</sub> sink



Anders Ahlström<sup>1,2,\*</sup>, Michael R. Raupach<sup>3,†</sup>, Guy Schurgers<sup>4</sup>, Benjamin Smith<sup>1</sup>, Almut Arneth<sup>5</sup>, Martin Jung<sup>6</sup>, Markus Reichstein<sup>6</sup>, Josep G. Canadell<sup>7</sup>, Pierre Friedlingstein<sup>8</sup>, Atul K. Jain<sup>9</sup>, Etsushi Kato<sup>10</sup>, Benjamin Poulter<sup>11</sup>, Stephen Sitch<sup>12</sup>, Benjamin D. Stocker<sup>13,14</sup>, Nicolas Viovy<sup>15</sup>, Ying Ping Wang<sup>16</sup>, Andy Wiltshire<sup>17</sup>, Sönke Zaehle<sup>6</sup>, Ning Zeng<sup>18</sup>

+ Author Affiliations

\*Corresponding author. E-mail: anders.ahlstrom@nateko.lu.se

† Deceased.

Science 22 May 2015:  
Vol. 348, Issue 6237, pp. 895-899  
DOI: 10.1126/science.aaa1668

## 土地被覆区分

緑：熱帯林，濃緑：それ以外の森林，  
オレンジ：半乾燥地  
灰色：北極域ツンドラ・灌木，青：  
草地・耕作地，白：疎な植生

# 陸域炭素循環における生態系の役割

- 現在陸域生態系は人為的CO<sub>2</sub>排出の約4分の1を吸収
- 大気CO<sub>2</sub>の増加率の年変動にも陸域炭素収支は大きく寄与
  - 20世紀後半以降、そのバランスは正味で吸収側となっており、CO<sub>2</sub>の大気中濃度の増加を抑えるという重要な生態系サービスを担っている
- ただし、こういった生態系がこれらの変動に寄与しているかは不明であった
  - この研究では、国際グループによるモデル研究によって、サバンナや灌木林などの半乾燥生態系が、陸域によるCO<sub>2</sub>吸収をコントロールする非常に重要な役割を担っていることを明らかにした

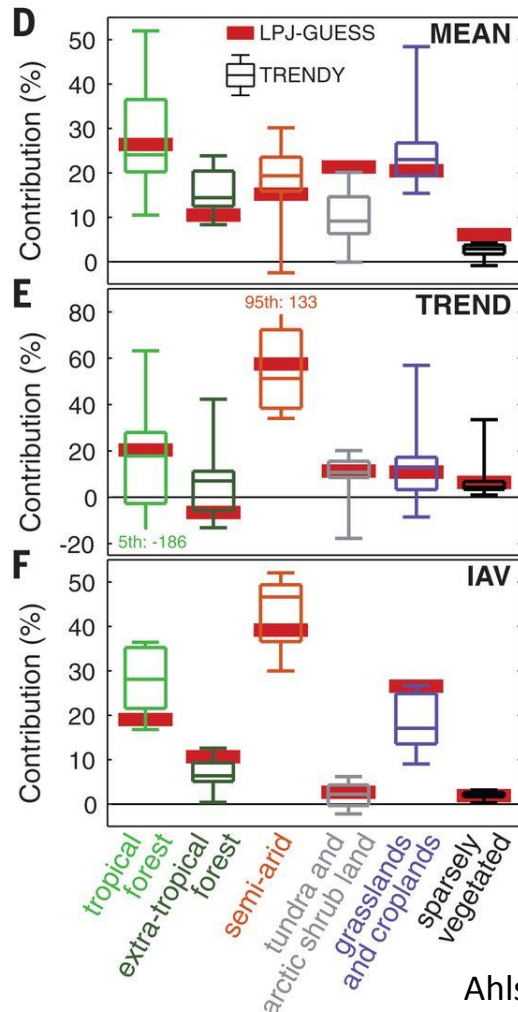
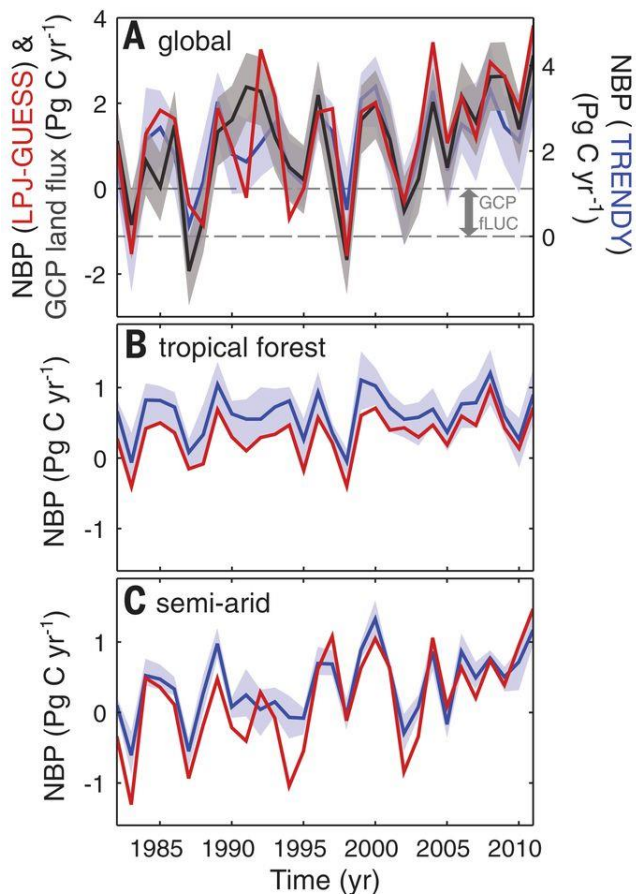
# 陸域生態系のCO2吸収

気候変化による生態系、特に半乾燥地の将来の応答が、大気中CO2の動態に大きく影響をおよぼすことを示唆

## 生物圏純生産量 (NBP)

## 生態系別寄与度

全球



平均

トレンド

年変動

GCP land flux +/- 0.8 PgC (including fLUC)  
 TRENDY mean NBP 1st and 3rd quartiles (excluding fLUC)  
 LPJ-GUESS NBP (including fLUC)

Ahlstrom et al. 2015

## 参考: 将来における陸域炭素循環の不確実性 (IPCC AR5 WG1より抜粋、強調は筆者)

- 大気中のCO<sub>2</sub>の増加によって生じる世界の陸域及び海洋の炭素吸収の増加を、**気候変化が部分的に相殺**することの確信度は高い
- 大気中のCO<sub>2</sub>の増加が将来の陸域炭素吸収を増す効果は、**栄養素の不足によって抑制**される可能性が非常に高い
- 温暖化による永久凍土面積の減少が原因となって、**現在凍結固定されている炭素の融解**が生じることの確信度は高い。しかし、その炭素減少の大きさについての確信度は低い
- 高いCO<sub>2</sub>濃度とより温暖な気候のもとでは、**湿地からのCH<sub>4</sub>放出量が増加**する可能性が高いことについて中程度の確信度がある
- 飼料／食料需要の増大と農業の窒素肥料への依存により、**土壌からのN<sub>2</sub>O排出量が増加**する可能性は高い

## Biophysical and economic limits to negative CO<sub>2</sub> emissions

Pete Smith<sup>1\*</sup>, Steven J. Davis<sup>2</sup>, Felix Creutzig<sup>3,4</sup>, Sabine Fuss<sup>3</sup>, Jan Minx<sup>3,5,6</sup>, Benoit Gabrielle<sup>7,8</sup>, Etsushi Kato<sup>9</sup>, Robert B. Jackson<sup>10</sup>, Annette Cowie<sup>11</sup>, Elmar Kriegler<sup>5</sup>, Detlef P. van Vuuren<sup>12,13</sup>, Joeri Rogelj<sup>14,15</sup>, Philippe Ciais<sup>16</sup>, Jennifer Milne<sup>17</sup>, Josep G. Canadell<sup>18</sup>, David McCollum<sup>15</sup>, Glen Peters<sup>19</sup>, Robbie Andrew<sup>19</sup>, Volker Krey<sup>15</sup>, Gyami Shrestha<sup>20</sup>, Pierre Friedlingstein<sup>21</sup>, Thomas Gasser<sup>16,22</sup>, Arnulf Grübler<sup>15</sup>, Wolfgang K. Heidug<sup>23</sup>, Matthias Jonas<sup>15</sup>, Chris D. Jones<sup>24</sup>, Florian Kraxner<sup>15</sup>, Emma Littleton<sup>25</sup>, Jason Lowe<sup>24</sup>, José Roberto Moreira<sup>26</sup>, Nebojsa Nakicenovic<sup>15</sup>, Michael Obersteiner<sup>15</sup>, Anand Patwardhan<sup>27</sup>, Mathis Rogner<sup>15</sup>, Ed Rubin<sup>28</sup>, Ayyoob Sharifi<sup>29</sup>, Asbjørn Torvanger<sup>19</sup>, Yoshiki Yamagata<sup>30</sup>, Jae Edmonds<sup>31</sup> and Cho Yongsung<sup>32</sup>

# ネガティブエミッションの必要性

- 気候変動に関する国際交渉が20年にもわたり行われてきたが、2000年代のCO<sub>2</sub>排出の増加率は1990年代よりも上がっている
- 現在の増加し続けている排出のもと、国際的なゴールである2度目標を達成するには、今すぐ厳しい削減に向けた政策がない限り困難な状況
- このような状況で50%の確率で2度未満に温度上昇を抑えるためのほとんどのシナリオでは、大規模なネガティブエミッション技術を導入したのになっている

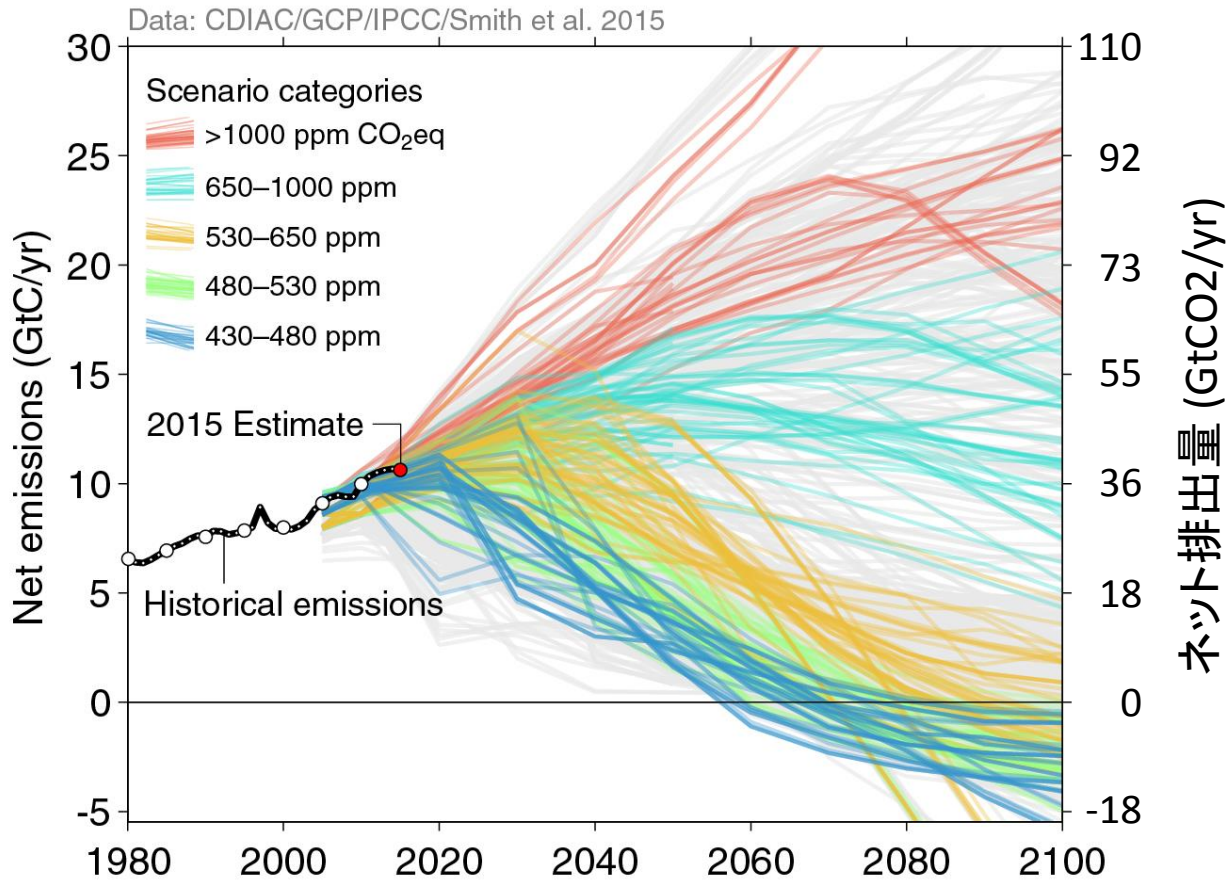
# COP21でのパリ協定における記述（強調は筆者）

## • Article 4

- 1. In order to achieve the long-term temperature goal set out in Article 2, Parties aim to reach global peaking of greenhouse gas emissions as soon as possible, recognizing that peaking will take longer for developing country Parties, and to undertake rapid reductions thereafter in accordance with best available science, **so as to achieve a balance between anthropogenic emissions by sources and removals by sinks of greenhouse gases in the second half of this century**, on the basis of equity, and in the context of sustainable development and efforts to eradicate poverty.
- 今世紀後半に、温室効果ガスの人為的排出と人為吸収をバランスさせる必要



ネガティブエミッション技術を含むシナリオの人為起源CO<sub>2</sub>排出パス（色付きの線）  
シナリオカテゴリーをそれぞれ色分け



## さまざまな技術を用いた場合の大気、陸域、海洋、地下の間の炭素フロー

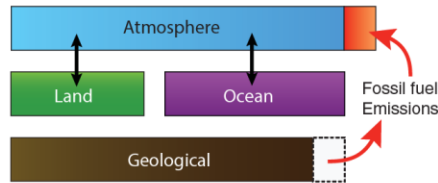
大気

陸

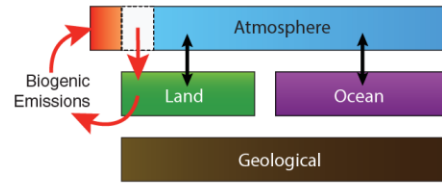
海洋

地質

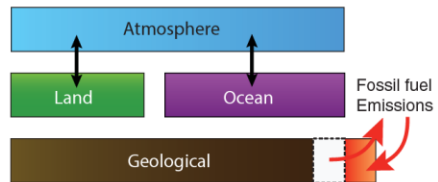
a 化石エネルギー利用



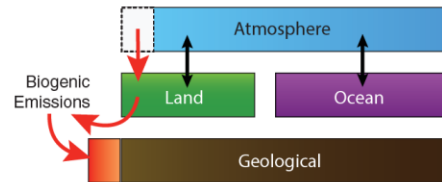
b バイオエネルギー利用



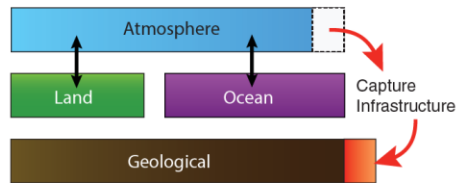
c 炭素回収貯留 (CCS)



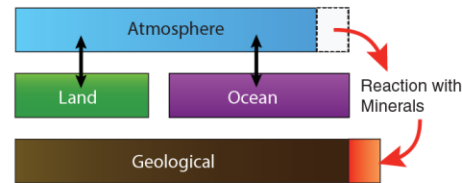
d バイオエネルギー+CCS (BECCS)



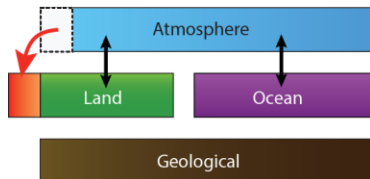
e 直接空気回収 (DAC)



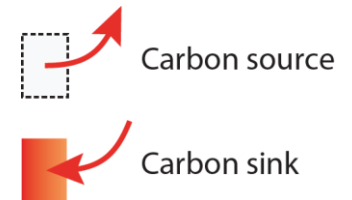
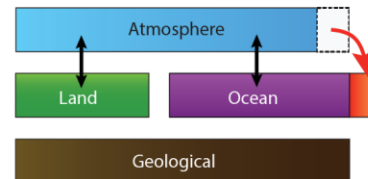
f 風化作用促進



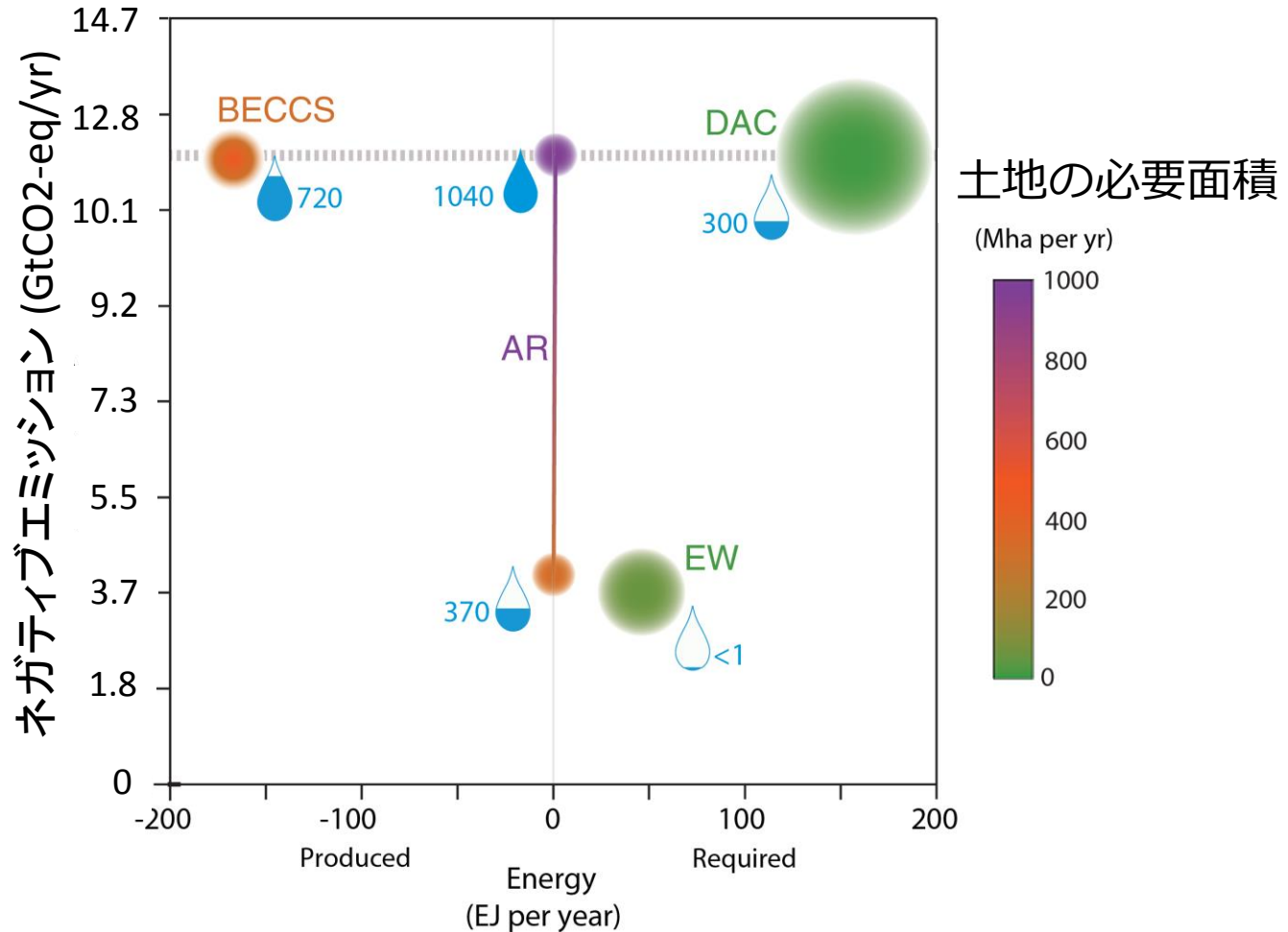
g 植林/耕作方法の変更



h 海洋肥沃化/アルカリリ化



## 2度目標レベルでのネガティブエミッション技術利用の影響および必要条件



Water requirement is shown as water droplets, with quantities in km<sup>3</sup> per year.

All values are for the year 2100 except relative costs, which are for 2050

Source: [Smith et al 2015](#); [Global Carbon Budget 2015](#)

## Is the 2 °C world a fantasy?

Countries have pledged to limit global warming to 2 °C, and climate models say that is still possible. But only with heroic — and unlikely — efforts.

[Jeff Tollefson](#)

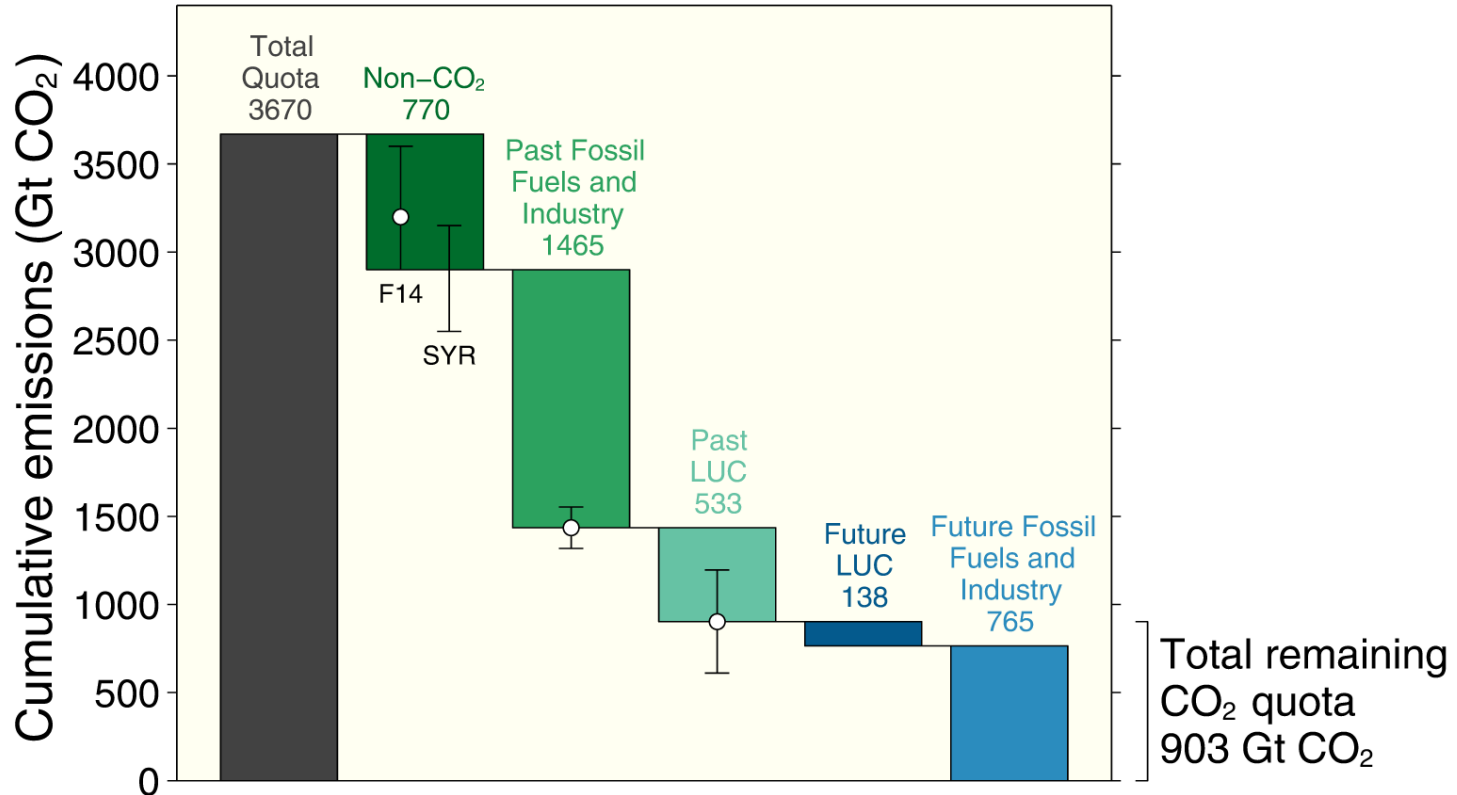
24 November 2015

[PDF](#)[Rights & Permissions](#)

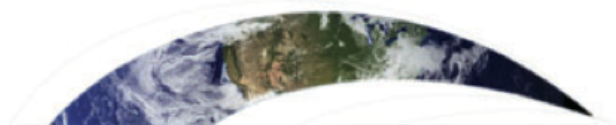
# 66%の確率で2度未満に抑えるための炭素制約

全球平均気温上昇を2度未満に抑えるためのCO<sub>2</sub>排出量 (900GtCO<sub>2</sub>) は、現在の排出量が続けば20年で使い果たされる

Data: IPCC/CDIAC/GCP/Peters et al. 2015



Grey: Total quota for 2°C. Green: Removed from quota. Blue: remaining quota.  
With projected 2015 emissions, this remaining quota drops to 865 Gt CO<sub>2</sub>



## Earth's Future

### RESEARCH ARTICLE

10.1002/2014EF000249

#### Key Points:

- Bottom-up evaluations of BECCS potential of dedicated bioenergy crops conducted
- 2nd-generation biofuel with high CO<sub>2</sub> capture system and high fertilizer required
- Conflicts with LUC emissions or food security without effective BECCS deployment

#### Corresponding author:

E. Kato, kato.etsushi@nies.go.jp

#### Citation:

Kato, E., and Y. Yamagata (2014), BECCS capability of dedicated bioenergy crops under a future land-use scenario targeting net negative carbon emissions, *Earth's Future*, 2, 421–439, doi:10.1002/2014EF000249.

Received 15 APR 2014

Accepted 17 JUL 2014

Accepted article online 26 JUL 2014

Published online 3 SEP 2014

## BECCS capability of dedicated bioenergy crops under a future land-use scenario targeting net negative carbon emissions

Etsushi Kato<sup>1</sup> and Yoshiki Yamagata<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Center for Global Environmental Research, National Institute for Environmental Studies, Tsukuba, Japan

**Abstract** Bioenergy with Carbon Capture and Storage (BECCS) is a key component of mitigation strategies in future socioeconomic scenarios that aim to keep mean global temperature rise below 2°C above preindustrial, which would require net negative carbon emissions in the end of the 21st century. Because of the additional need for land, developing sustainable low-carbon scenarios requires careful consideration of the land-use implications of deploying large scale BECCS. We evaluated the feasibility of the large-scale BECCS in RCP2.6, which is a scenario with net negative emissions aiming to keep the 2°C temperature target, with a top-down analysis of required yields and a bottom-up evaluation of BECCS potential using a process-based global crop model. Land-use change carbon emissions related to the land expansion were examined using a global terrestrial biogeochemical cycle model. Our analysis reveals that first-generation bioenergy crops would not meet the required BECCS of the RCP2.6 scenario even with a high-fertilizer and irrigation application. Using second-generation bioenergy crops can marginally fulfill the required BECCS only if a technology of full postprocess combustion CO<sub>2</sub> capture is deployed with a high-fertilizer application in the crop production. If such an assumed technological improvement does not occur in the future, more than doubling the area for bioenergy production for BECCS around 2050 assumed in RCP2.6 would be required; however, such scenarios implicitly induce large-scale land-use changes that would cancel half of the assumed CO<sub>2</sub> sequestration by BECCS. Otherwise, a conflict of land use with food production is inevitable.

# RCP2.6シナリオのBECCSおよび土地利用の前提

Kato and Yamagata (2014)

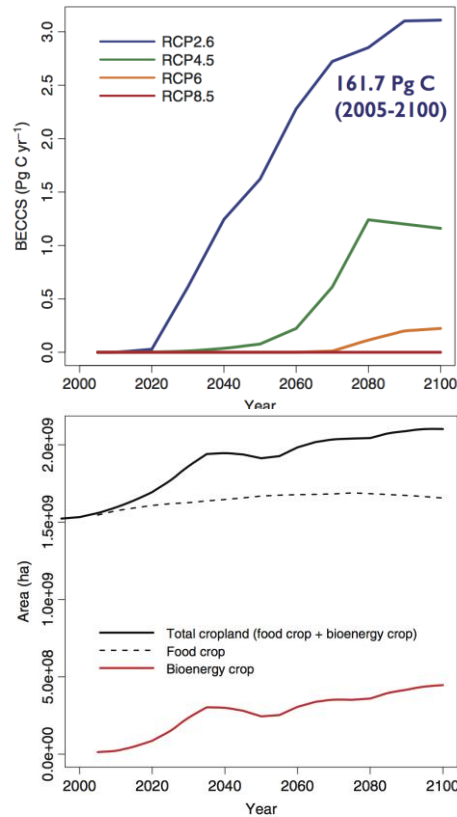


Figure 2. Global area used for cropland in the RCP2.6 scenario.

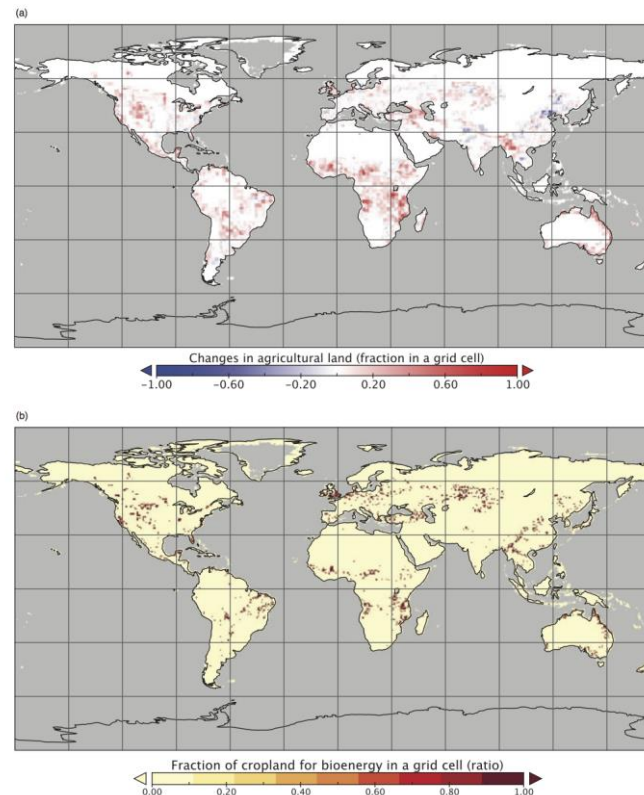


Figure 1. Land-use scenario in RCP2.6. (a) Net changes in land use for cropland plus pasture during the years 2005-2100. (b) Fraction of cropland area for bioenergy use in grid cells in 2100.

- バイオエネルギーが 2050 年に 161 EJ yr<sup>-1</sup>, 2100年に 255 EJ yr<sup>-1</sup> 利用される (一次エネルギー)
- 2100年において、そのうちの約半分がBECCSに使われ、11.4 GtCO<sub>2</sub> yr<sup>-1</sup> の炭素を大気から回収 (21世紀中に計592 GtCO<sub>2</sub>の回収)

こういった土地利用のもと、エネルギー作物を利用して必要な量のネガティブエミッションは達成できるのか？

- 第一世代および第二世代バイオエネルギー作物を考慮して評価
  - 第一世代エネルギー作物ではバイオエタノール、およびバイオディーゼルの生産・利用に伴うBECCS
  - 第二世代エネルギー作物ではガス化技術によるBECCS
- 作物生産にあたる気候・土壌・CO<sub>2</sub>濃度、肥料の影響を考慮
- バイオエネルギーの生産および燃焼過程でのCO<sub>2</sub>回収効率の影響も考慮



# 参考：第二世代バイオ燃料向けに期待されている作物

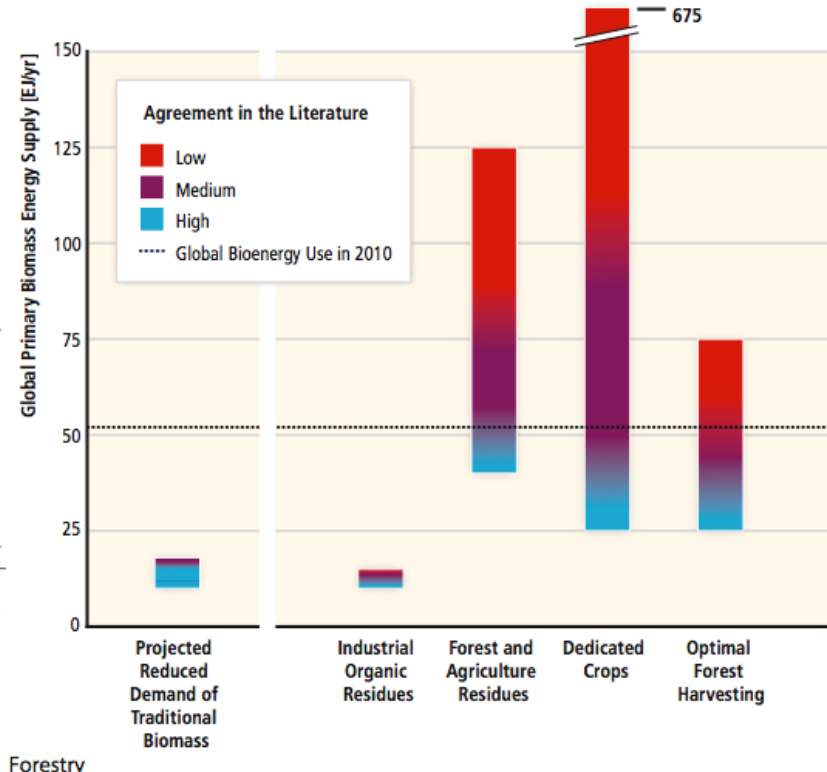
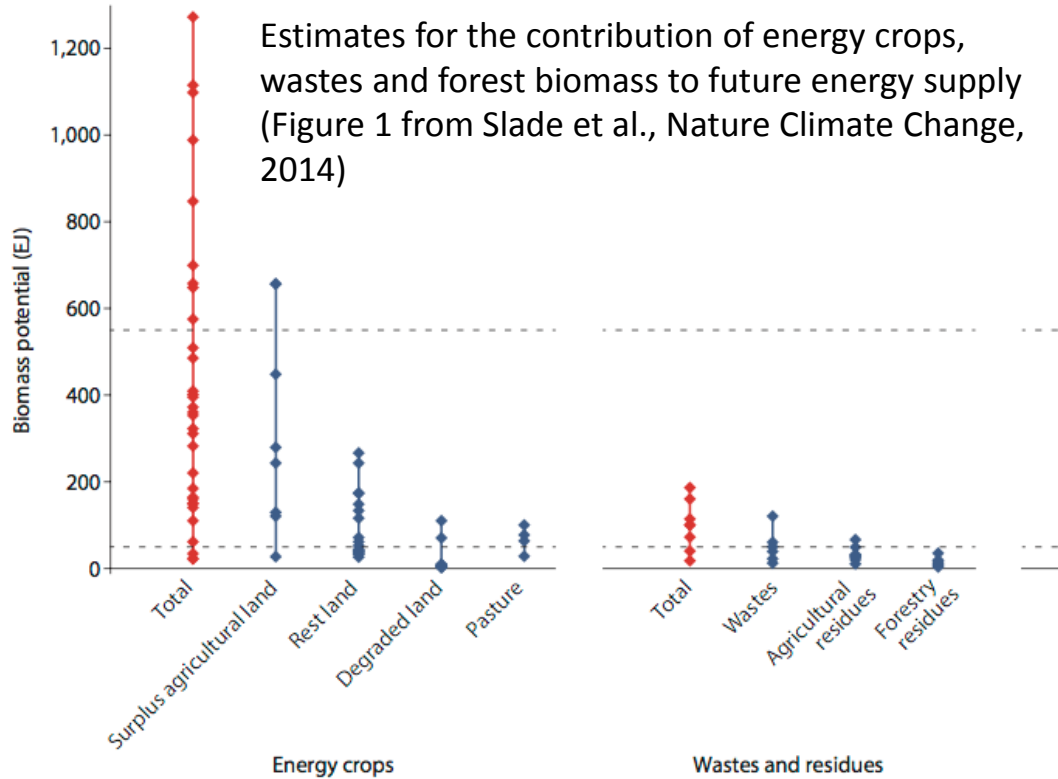


***Erianthus arundinaceus***  
熊本での栽培

IEA Bioenergy (2012)

# 参考: バイオエネルギーのポテンシャル

Estimates for the contribution of energy crops, wastes and forest biomass to future energy supply (Figure 1 from Slade et al., Nature Climate Change, 2014)



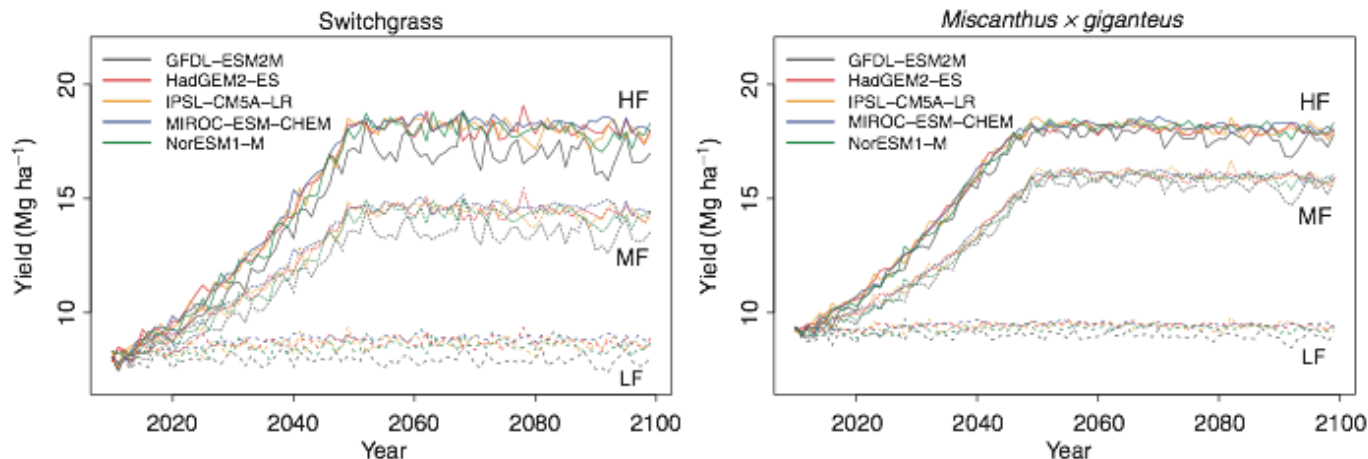
Global Technical Bioenergy Potential from IPCC AR5 WG3 Fig 11.20 (IPCC, 2014)

- もっとも議論が大きいのは将来のエネルギー作物のポテンシャル。ただし最近の議論の傾向として控えめな値になってきた(?)

# RCP2.6気候下でのエネルギー作物の生産性



Kato and Yamagata (2014)



**Figure 8.** Projected average yield ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) of second-generation bioenergy crops in RCP2.6 climate conditions. Left: switchgrass. Right: *Miscanthus x giganteus*. Projections with high increase rate of fertilizer application (HF; solid lines), middle-level fertilizer application (MF; dotted lines), and stable fertilizer application at the current level (LF; dashed lines) are shown. Yields at the grid cells that are used for bioenergy crop production in 2100 were selected to calculate the global average.

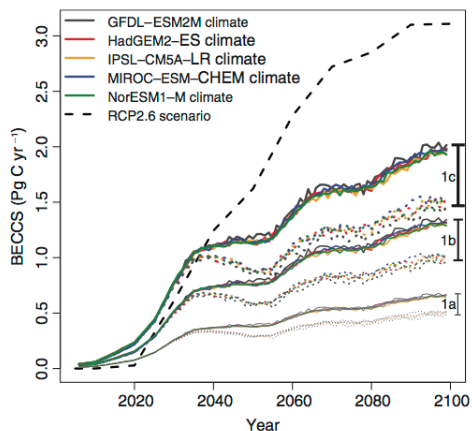


- 中程度 (80kgN/ha) および高い肥料投入 (160kgN/ha) であれば、かなり高い単収が見込まれる
- 高い肥料投入ケースでは、世界平均で現状の2倍の生産性がみこまれる

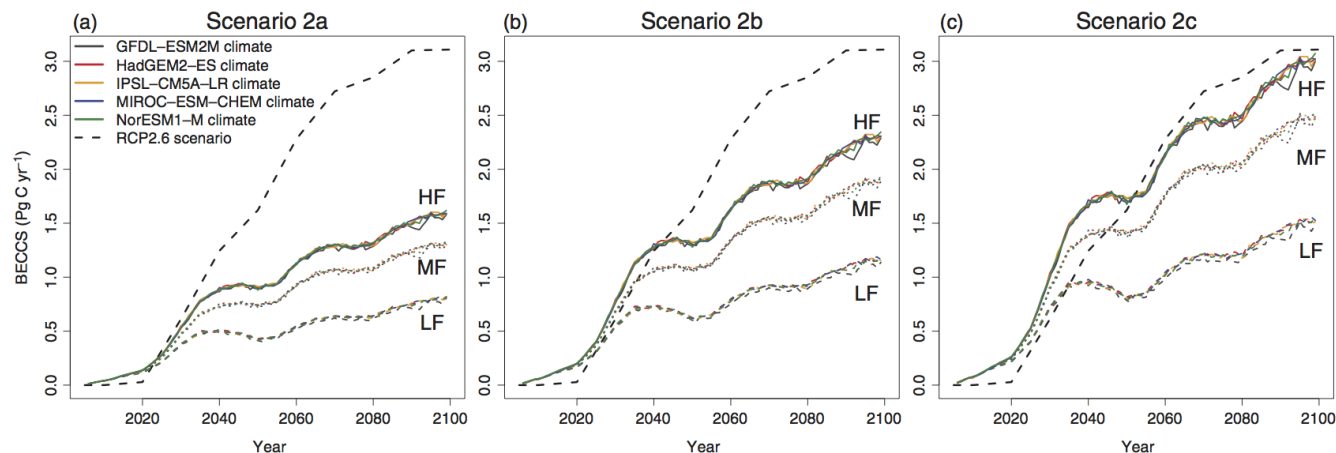
# RCP2.6土地利用での、BECCSによるネガティブエミッション達成可能量

Kato and Yamagata (2014)

## 第一世代エネルギー作物



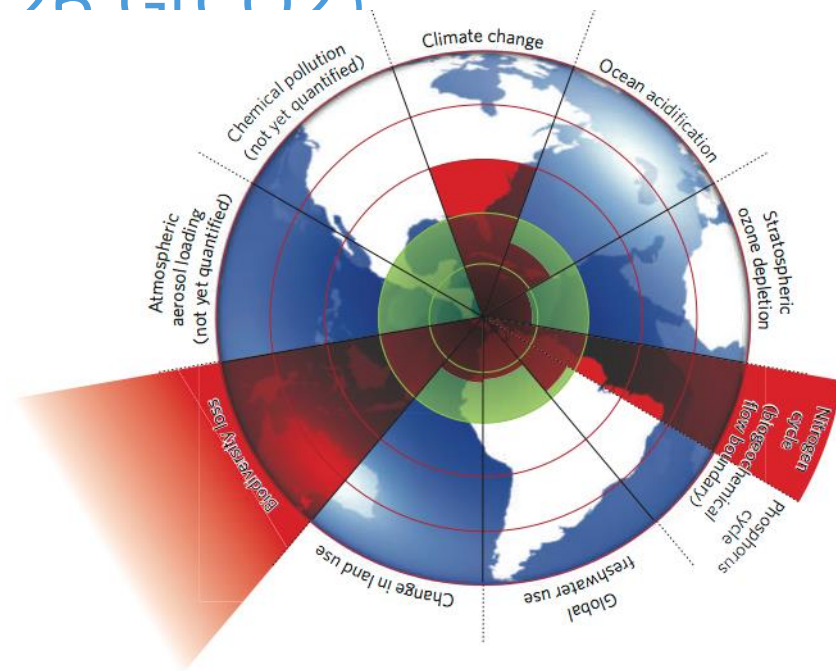
## 第二世代エネルギー作物



- 第一世代エネルギー作物では必要量の達成は不可能
- 第二世代エネルギー作物でも、高肥料投入 (160 kgN/ha) かつ高CO2回収が可能な技術を用いないかぎり、必要なネガティブエミッション量には届かない

# 必要なBECCSを達成するために付随する影響

- 土地利用変化による炭素排出は気候変化影響による不確実性が大きいですが、無視できない量となる (2005-2100で $295 \pm 176$  GtCO<sub>2</sub>)
- 平均でシナリオの仮定よてしまう可能性あり。 - シナリオより187 GtCC
- エネルギー作物に必要なにおいて、現在地球全体でる量の77%



**Figure 1 | Beyond the boundary.** The inner green shading represents the proposed safe operating space for nine planetary systems. The red wedges represent an estimate of the current position for each variable. The boundaries in three systems (rate of biodiversity loss, climate change and human interference with the nitrogen cycle), have already been exceeded.

(Rockstrom et al., Nature, 2009)

# エネルギー作物利用によるネガティブエミッションを達成する一例における条件まとめ

- 4.5億haのエネルギー作物むけの農地
- 現状の2倍の生産性をもつ多年生草本エネルギー作物の栽培
- 窒素肥料の大規模な追加（2050年で現状の37%、2100年で77 %の追加）
- しかしながら、肥料追加によるN<sub>2</sub>O排出を出来るだけ抑える必要
- エネルギー作物に含まれる炭素のうち、72%以上を回収・貯留
- エネルギー作物栽培に付随する土地利用変化による炭素排出を、予測される量より73 GtCO<sub>2</sub>減らす



# Emissions reduction: Scrutinize CO<sub>2</sub> removal methods

Phil Williamson

10 February 2016

The viability and environmental risks of removing carbon dioxide from the air must be assessed if we are to achieve the Paris goals, writes Phil Williamson.



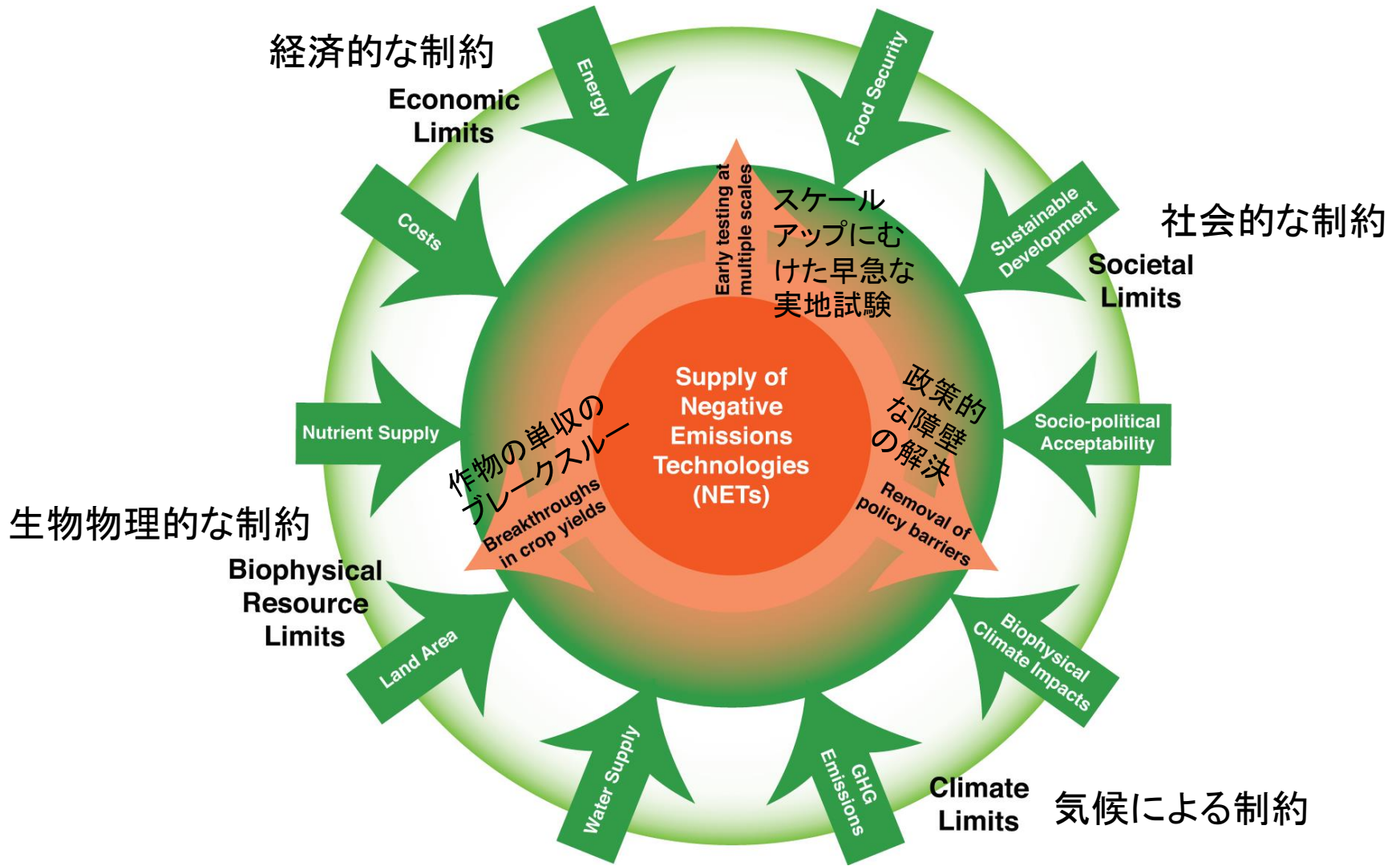
PDF



Rights & Permissions

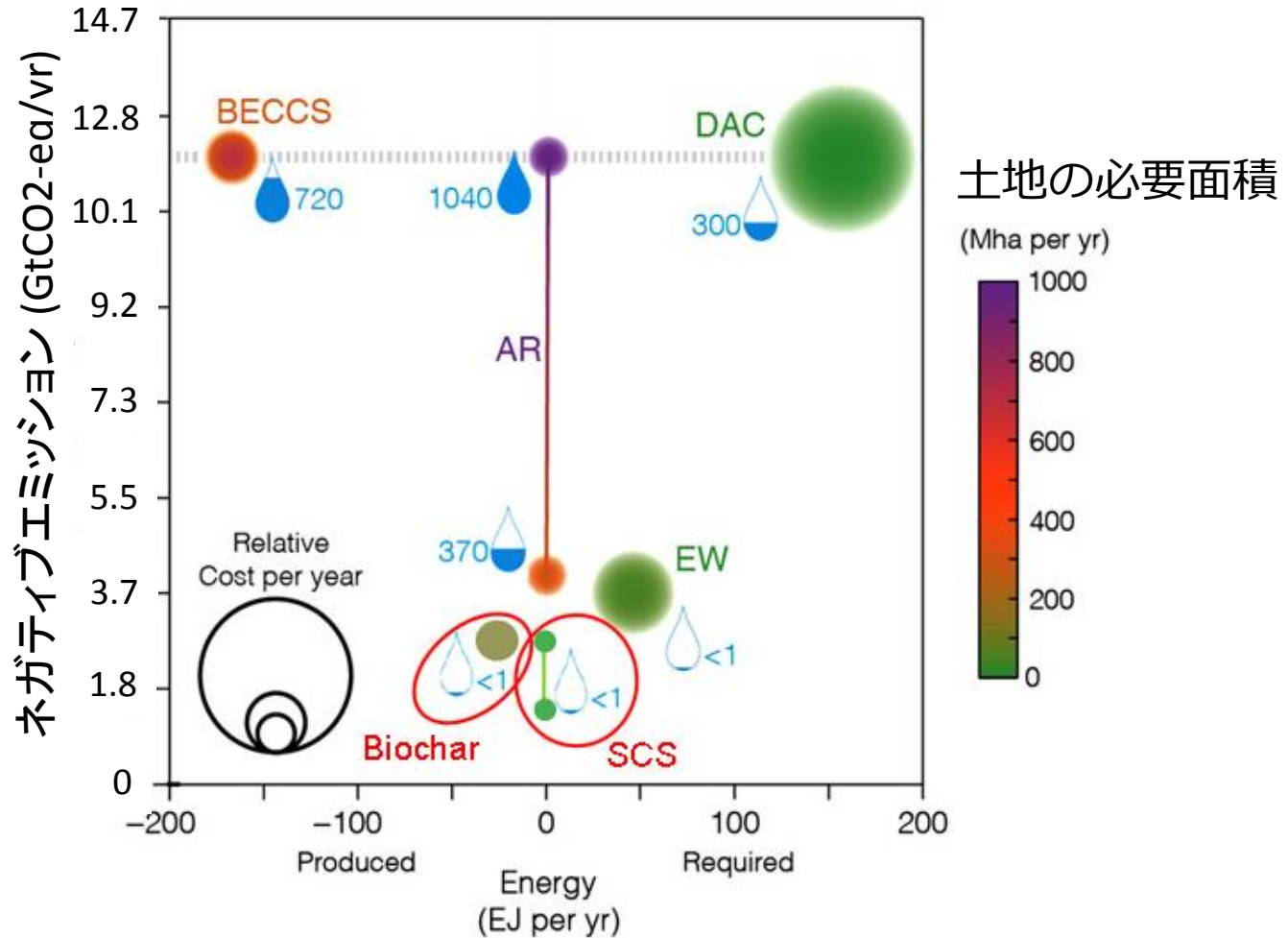
Subject terms: [Policy](#) · [Climate sciences](#) · [Environmental sciences](#)

## 地球規模でのネガティブエミッション技術を制約する潜在的な要因





## 持続可能なネガティブエミッション技術の精査



Water requirement is shown as water droplets, with quantities in km<sup>3</sup> per year.

All values are for the year 2100 except relative costs, which are for 2050

Source: [Smith 2016](#); [Smith et al. 2015](#)

# まとめ

- Global Carbon Budget
  - 地球規模でのCO<sub>2</sub>の人為排出と吸収に関し科学的知見を10年間提供
- 炭素管理に向けた研究 – ネガティブエミッションの必要性と限界 –
  - ネガティブエミッション技術の研究開発および精査が急務
  - 社会的な制度・受容、ガバナンスの課題は大きい
  - 持続可能な開発目標 (SDGs) を考慮した、多次元による評価が重要となる