

# 温暖化概論⑩: 砂漠化



## 自己紹介



## 世界の乾燥地研究センター： 日本のオンリーワン



## 参考書

- 篠田雅人 (2009): 砂漠と気候 改訂版. 成山堂書店.  
→砂漠気候、砂漠化全般の解説
- 篠田雅人(2007): 気候変動と乾燥地科学. 特集「グローバル気候変動」地学雑誌, 116, 811-823.  
→IPCC (2007)の解説
- IPCC (2013, 2014a, b)
- 恒川篤史編 (2007): 21世紀の乾燥地科学—人と自然の持続性—. 乾燥地科学シリーズ第1巻, 古今書院.  
→乾燥地科学全般の解説

## 砂漠化問題への取り組み

- 1977年「国連砂漠化会議」
- 1992年の地球サミット(国連環境開発会議)で採択された「アジェンダ21」
- 「砂漠化対処条約」は1994年6月に採択、1996年12月に発効となった。

1968-1973 サヘル干ばつ

1982-1984 サヘル干ばつ

## 地球環境問題としての砂漠化

- 地圏(陸域土壌・植生)に発生(温暖化は大気圏)
- 地域限定(どちらかといえば発展途上国)、温暖化のようにグローバルでない
- 原因・プロセス・影響は地域の自然・社会・経済により多様
- 影響評価・対策も地域による

## 砂漠化の定義

- **砂漠化対処条約**による
- **砂漠化**(desertification): 乾燥、半乾燥および乾燥半湿潤地域における気候変動および人間活動を含むさまざまな要因に起因する土地の劣化
- **土地**: 土壌、植物、水など

## 土地の劣化とは

- ① 風または水による土壌侵食
  - ② 土壌の物理的、化学的および生物学的特質の悪化
  - ③ 自然植生の長期間にわたる消失
- プロセス①と②: 広い意味での**土壌劣化**
  - プロセス③: **植生劣化**
  - 実際の砂漠化は、砂漠の拡大という砂漠縁辺に限った現象ではなく、砂漠から離れた場所でも、人間活動により局所的にも生じる
  - 条約では、「砂漠化」に加えて「土地の劣化」(land degradation)という包括的な語句が併記

## 風食:中国北部

- 風食地域は、東経105度付近を境にして、北西部の降水量が少ない地域(年降水量250mm以下)と北東部のやや湿潤な地域(年降水量250~500mm)に区分。
- 前者では、内陸河川上中流域での過度の水資源利用によって、下流域で河川水が枯渇し固定・半固定砂丘の再活動。オアシス周辺での過度の樹木伐採によって、固定・半固定砂丘の再活動。タクラマカン砂漠周辺にある山岳氷河を源とする河川の分布に対応してパッチ状にみられる。
- 後者は年降水量からみると温帯草原が成立可能。「砂地(さち)」とよばれる地域で草原が退行(写真)。表層に砂質堆積物があるため、過放牧などで植生が破壊されると、3~5月の強風で固定砂丘が再活動。



内モンゴル、毛烏素砂地における砂丘の再活動。山中典和撮影。

## 水食:黄土高原

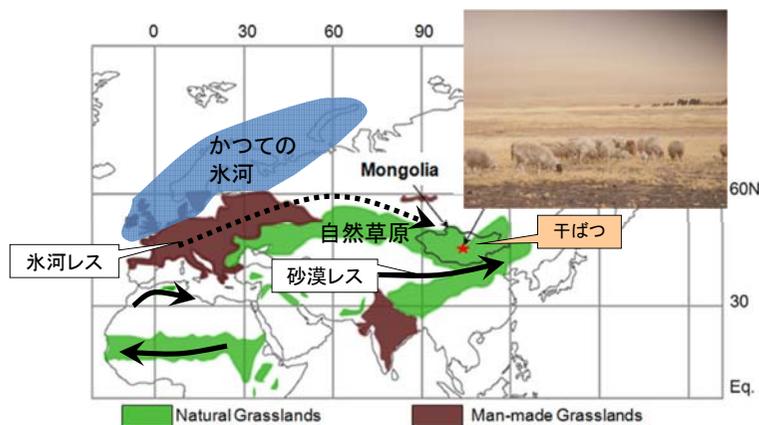
- 中国北部の黄河中流域に広がる黄土高原。年降水量は300~660mmで、その60~70%が7~9月に集中。
- 黄土(おうど)は、黄色ないし灰色かかったシルト(0.01~0.05mm)、タクラマカン砂漠やジュンガル砂漠起源。堆積の厚さは平均40~50m、最大で400m。
- 黄土高原の多くで水食が進行。土壤荒廃の程度は強~極強度。黄土は農耕には容易な土壌であるが、垂直方向に大きな孔隙を発達させ、水食に対してもろい。短期間に集中して降雨があると、雨水が垂直方向に流れて土壌を崩壊。
- かつての緑豊かな土地に、清の時代(1616~1912年)の大規模な森林伐採と草地開墾で、深いガリー(侵食谷)が形成。



黄土高原、延安南部におけるガリー侵食。山中典和撮影。

図 1-1-1 中国におけるレキ、砂、黄土の分布 (山中編 2008)

## 風食:モンゴル草原



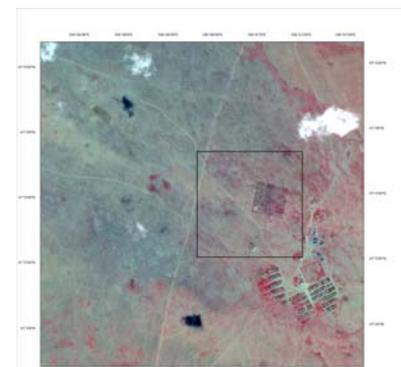
かつての氷河周辺で堆積したレスが  
干ばつによって植生減少・風食→ダスト発生

(Shinoda et al. 2011 Aeolian Research)

## 植生劣化:モンゴル草原



モンゴル典型草原、バヤンオンジュール村周辺の重牧地。2005年8月3日。約1年前に設置した牧柵の内外で草丈が異なる。



Quick Bird画像でみたバヤンオンジュール村とその北方にある牧柵。2005年9月1日。村を中心としてその周辺が重牧地となっている。黒枠内にある牧柵(300m×300m)の中は植生がよい。村の近辺も植生がよくみえるが、これは家畜の好まない一年草の草本が繁茂しているため。

## 土壌の固結化：モンゴル草原の井戸周辺



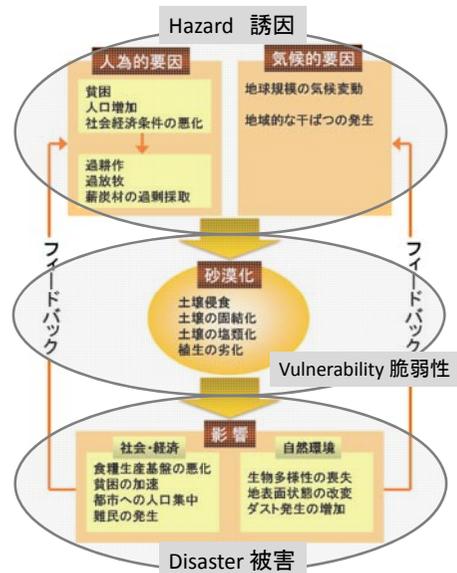
モンゴル典型草原東部、マタッド付近の井戸と土壌固結化。井戸の周りは家畜の踏みつけにより植生がない。2003年8月14日。

## 土壌の塩類化

→ムービー鑑賞

## 砂漠化の構図

- 砂漠化の原因：気候的要因と人為的要因
- 気候的要因：干ばつを引き起こす大気循環の変動など
- 人為的要因：過放牧、過耕作、樹木の過剰採取など生態系の許容範囲を超えた人間活動
- その背景：人口増加といった社会経済的な要因



## 乾燥地とは

- 乾燥、半乾燥および乾燥半湿潤地域(砂漠化対処条約)にあるとは、広い意味での「乾燥地」
- **乾燥度指数 = 年間の降水量 / 可能蒸発散量** で区分→表参照
- 乾燥度指数が小さいほど乾燥の程度が高い
- 可能蒸発散量：水が十分に供給されたときの蒸発散量であり、実際の蒸発散量の上限

# 乾燥地の区分

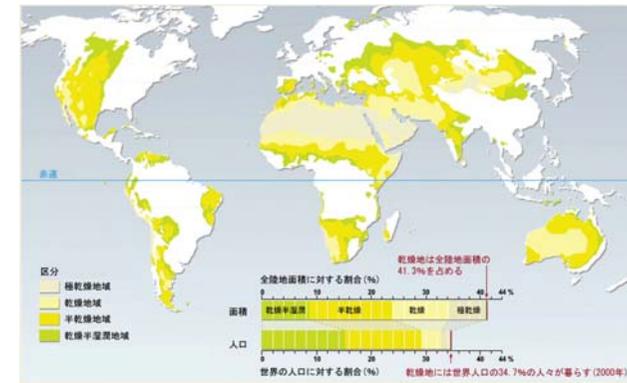
(ミレニアム生態系評価 2005)

区分	乾燥度指数	面積 (×10 <sup>6</sup> km <sup>2</sup> )	陸地面積に対する占有割合 (%)
極乾燥地域	<0.05	9.8	6.6
乾燥地域	0.05-0.20	15.7	10.6
半乾燥地域	0.20-0.50	22.6	15.2
乾燥半湿潤地域	0.50-0.65	12.8	8.7
計		60.9	41.3

砂漠

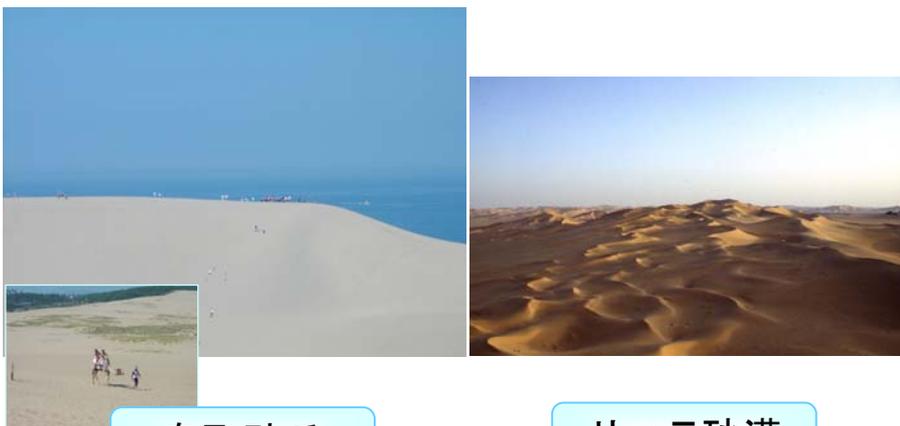
- 寒冷地を除いた乾燥地は全陸地面積の41.3%
- 極乾燥から乾燥の地域が、一般的にいう砂漠、全陸地面積の17.2%
- このなかでも極乾燥地域は、もともと砂漠であるので砂漠化の被害はない
- 砂漠化の進行している地域は、乾燥地のうちでも極乾燥地域周辺に位置し、やや湿潤で植生がわずかにある地域

# 乾燥地の分布



(ミレニアム生態系評価 2005)

# 鳥取砂丘は砂漠だろうか？



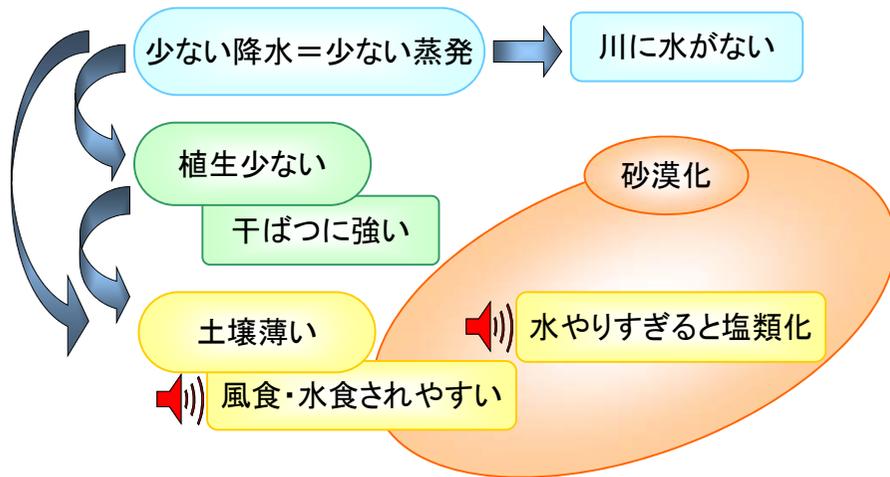
鳥取砂丘

サハラ砂漠

# 砂漠とは

- 降水量が少ないため、植物の根圏の土壤水が少なく、植生が少ない自然景観(篠田 2009)
- 砂漠vs沙漠vs荒漠

## 乾燥地における自然のつながり



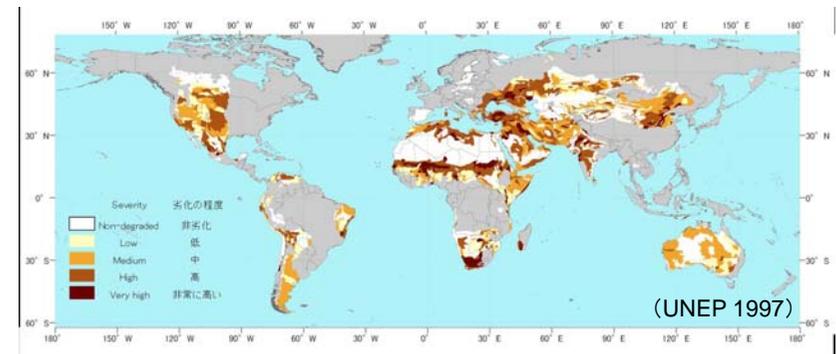
## 乾燥と干ばつ

- 乾燥: 降水が少ない地域における気候の**恒常的**な特徴(たとえば, 砂漠は年降水量200mm以下)
- 干ばつ: 通常**の**気候の変動幅のなかで起こりうる現象。**経年変動**のなかの一時的な現象。世界のどの気候帯でも認められる。

## 砂漠化の面積

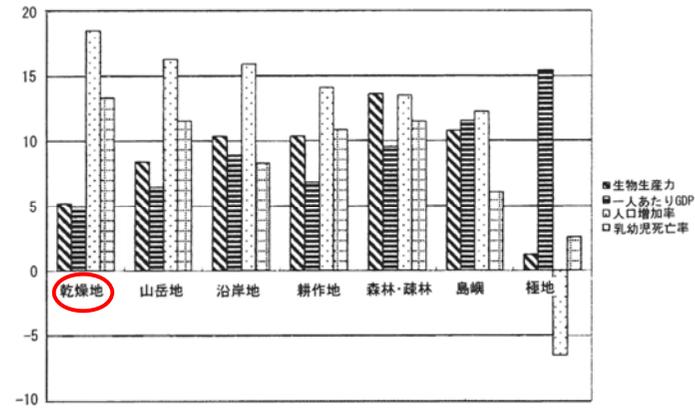
- UNEP(1997)の砂漠化地図によると、土壌劣化を受けている土地(植生劣化している地域も含む)の面積は**約10億ヘクタール(地球の全陸地の約7%)**
- ミレニアム生態系評価(2005)では、専門家の意見、リモートセンシングデータ、センサスをもとに、1981~2000年の土地被覆の変化が評価された。砂漠化(土壌劣化と植生劣化を含む)の面積は、乾燥地(極乾燥地域を含む)の10~20%、**全陸地の4.1~8.3%**と再評価され、土壌劣化の評価によるもの(7%)と同程度
- これによると、アジアには急速な土地被覆変化、とくに砂漠化の地域がもっとも集中

## 砂漠化(土壌劣化)の分布



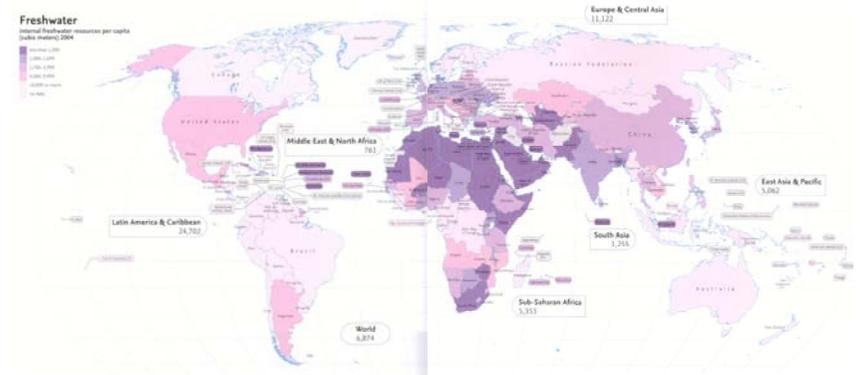
- 土壌劣化データ(GLASOD)による乾燥地における土壌劣化地図。乾燥地の土壌劣化地図であり、土壌劣化という視点からみた砂漠化地図
- 東北アジアでは、中国・内モンゴル地域において、強度・極強度の砂漠化。モンゴル国では砂漠化の程度が比較的小さい
- 内モンゴルでは水と風による土壌侵食(水食と風食)がともに重要であるが、その地域内でも降水の多い地域は水食のほうが重要。黄河に沿った地域では塩類化
- 地域の気候・水文・地形条件などによって砂漠化のプロセスも異なる

# 乾燥地の自然と福利



(ミレニアム生態系評価 2005)

# 一人あたりの淡水資源



The World Bank 2007: Atlas of Global Development

(www.fao.org)

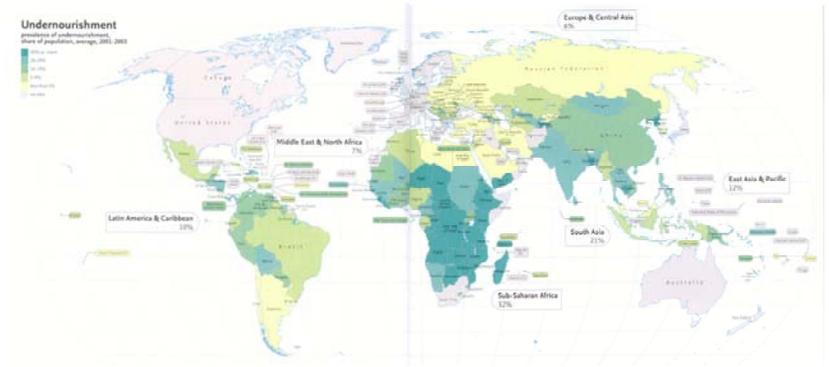
# 水へのアクセス



The World Bank 2007: Atlas of Global Development

(www.wssinfo.org/en/welcome.html)

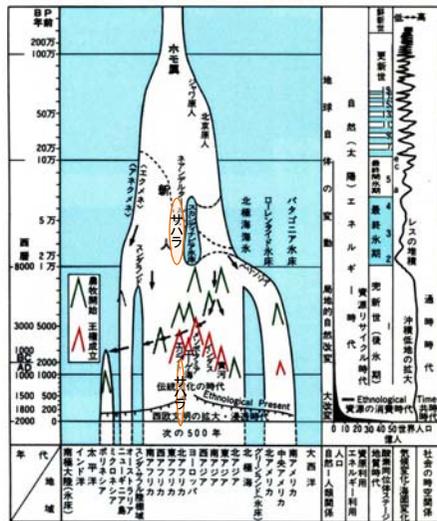
# 飢餓



The World Bank 2007: Atlas of Global Development

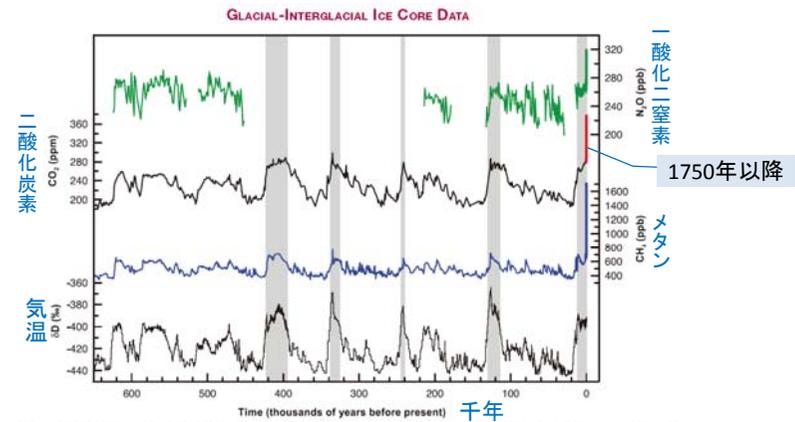
(www.worldbank.org)

# 人類登場以降の地球史



(デジタルブック最新第四紀学)

# 氷床コアから知る気候変動



世界の二酸化炭素・メタン・酸化二窒素の大気中濃度は、1750年以降の人間活動の結果、大きく増加してきており、工業化以前の値をはるかに超える (IPCC 2007)。

# 地球表層環境の変化

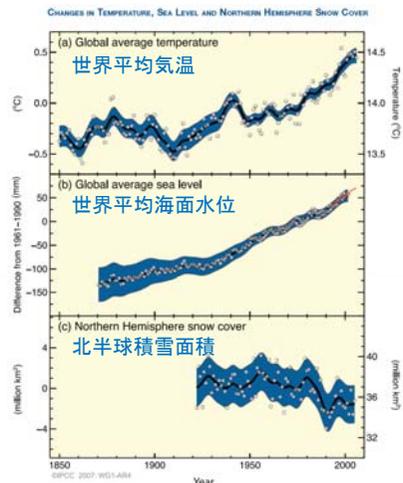


Figure SPM.3. Observed changes in (a) global average surface temperature, (b) global average sea level from tide gauge (blue) and satellite (red) data and (c) Northern Hemisphere snow cover for March-April. All changes are relative to corresponding averages for the period 1961–1990. Smoothed curves represent decadal average values while circles show yearly values. The shaded area are the uncertainty intervals estimated from a comprehensive analysis of known uncertainties (a and b) and from the time series (c). (IPCC 2007, Figure 1, Figure 4.2, Figure 5.13)

(IPCC 2007)

# 年降水量の長期変化

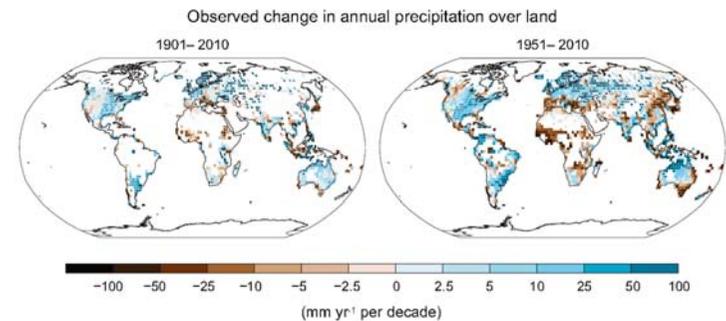


Figure SPM.2 | Maps of observed precipitation change from 1901 to 2010 and from 1951 to 2010 (trends in annual accumulation calculated using the same criteria as in Figure SPM.1) from one data set. For further technical details see the Technical Summary Supplementary Material, [TS TFE.1, Figure 2; Figure 2.29]

# 極端現象

Table SP6.1 | Extreme weather and climatic events: Global-scale assessment of recent observed changes, human contribution to the changes, and projected further changes for the early (2016–2050) and late (2081–2100) 21st century. 80% indicates when the AR5 (AR4) provides a “reliable” global-scale assessment from the WRF5 (AR4) or AR4 (AR5). Projections for early 21st century were not provided in previous assessment reports. Projections in the AR5 are relative to the reference period of 1980–2005, and use the new Representative Concentration Pathway (RCP) scenario (see text for details) unless otherwise specified. See the Glossary for definitions of extreme weather and climatic events.

Phenomenon and direction of trend	Assessment that changes occurred (typically since 1950 unless otherwise indicated)	Assessment of a human contribution to observed changes	Likelihood of further changes	
			Early 21st century	Late 21st century
Warmer and/or fewer cold days and nights over most land areas	Very likely (AR5) Very likely (AR4)	Very likely (AR5) Likely (AR4)	Likely (AR5) Likely (AR4)	Very likely (AR5) Very likely (AR4)
Warmer and/or more frequent hot days and nights over most land areas	Very likely (AR5) Very likely (AR4)	Very likely (AR5) Likely (AR4) (night only)	Very likely (AR5) Very likely (AR4)	Very likely (AR5) Very likely (AR4)
Warm spells/hot waves, frequency and/or duration increases over most land areas	Medium confidence on a global scale (AR5) Medium confidence in many but not all regions (AR4)	Likely (AR5) Not formally assessed (AR4)	Not formally assessed (AR5) Likely (AR4)	Very likely (AR5) Very likely (AR4)
Heavy precipitation events, frequency and/or intensity increases in the frequency, intensity, and/or amount of heavy precipitation	Likely (AR5) Likely (AR4)	Medium confidence (AR5) Medium confidence (AR4)	Likely over many land areas (AR5) Likely over most land areas (AR4)	Very likely over most of the mid-latitude land masses and over wet tropical regions (AR5) Likely over many areas (AR4)
Increases in intensity and/or duration of drought	Low confidence on a global scale (AR5) Medium confidence in some regions (AR4)	Low confidence (AR5) Medium confidence (AR4)	Low confidence (AR5) Likely (AR4)	Likely (medium confidence) on a regional to global scale (AR5) Likely (AR4)
Increases in intense tropical cyclone activity	Medium confidence in some regions (AR5) Likely (AR4)	Medium confidence (AR5) Low confidence (AR4)	Low confidence (AR5) Likely (AR4)	More likely (medium confidence) in the Western North Pacific and North Atlantic (AR5) Likely (AR4)
Increased incidence and/or magnitude of extreme high sea level	Likely (AR5) Likely (AR4)	Likely (AR5) Likely (AR4)	Likely (AR5) Likely (AR4)	Very likely (AR5) Very likely (AR4)

1. The direct comparison of assessment findings between reports is difficult. For some climate variables, different approaches have been used, and the limited guidance from observations has been used for the AR5. AR5. The availability of new information, improved scientific understanding, continued analysis of time and models, and specific differences in methodologies applied in the assessment studies, all contribute to revised assessment findings.

2. Attribution is based on available science. It is likely that further evidence has been added that further increases the probability of occurrence of extreme weather events in some locations.

3. Model spread has been reduced in the Arctic, midwest and eastern United States and over the North Pacific.

4. In some cases, confidence in trends is not higher than the median across all the regions and time periods in which the frequency or intensity of extreme precipitation with some seasonal and regional variation. It is very likely that there has been an increase in extreme precipitation in the Mediterranean and East Asia, and likely decreased in central North America and north-west Australia.

5. The frequency and intensity of drought has likely increased in the Mediterranean and East Asia, and likely decreased in central North America and north-west Australia.

6. AR5 assessed the new observed drought.

7. AR5 assessed medium confidence that anthropogenic influence has contributed to some changes in the drought patterns observed in the second half of the 20th century, based on its analysis of trends in precipitation and temperature changes. AR5 assessed low confidence in the attribution of changes in the first half of the 20th century.

8. There is a low confidence in projected changes in soil moisture.

9. Based on global-scale projections, increases in soil moisture and increased agricultural drought are likely (medium confidence) to prevail in dry regions by the end of the century under the RCP8.5 scenario. Soil moisture drying is also likely in some regions by the end of the century under the RCP2.6 scenario.

10. There is medium confidence that increases in extreme hot days and nights will be observed in some regions in the 21st century.

11. Based on expert judgment and assessment of projections which use an RCP8.5 for extreme hot days.

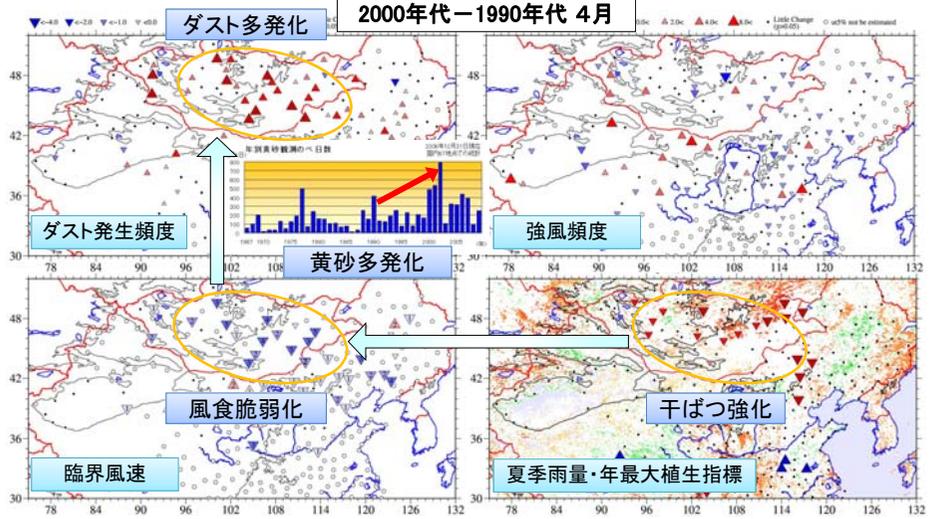
12. Attribution is based on the time relationship between observed changes in extreme hot days.

13. There is a high confidence that this increase in extreme hot days will primarily be the result of an increase in mean sea level. There is a low confidence in region-specific projections of decreases and associated ocean surge.

(IPCC 2013)

# 最近、黄砂飛来が増えたのはなぜ？

(Kurosaki et al. 2011 GRL)



# 砂漠化の大気に及ぼす影響

# 将来の水循環

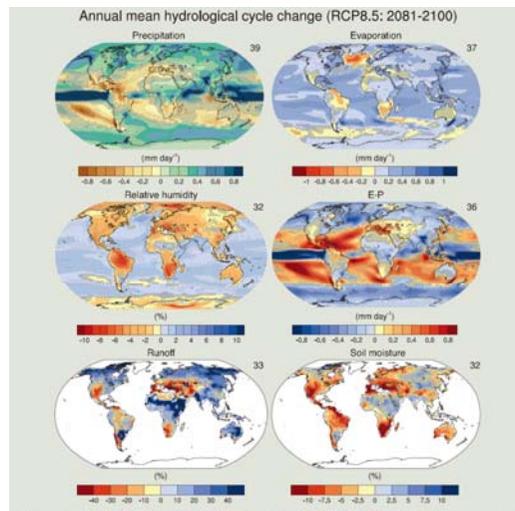
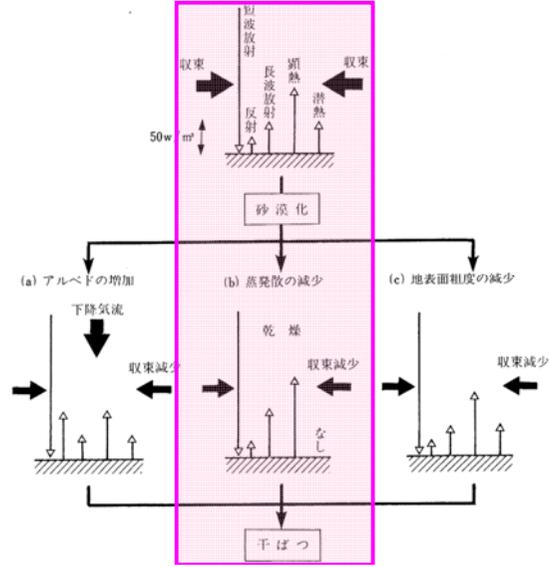


FIG. 3 | Annual mean changes in precipitation [P], evaporation [E], relative humidity [RH], runoff and soil moisture for 2081–2100 relative to 1980–2005, under the Representative Concentration Pathway (RCP8.5) (see text for details). The number of Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5) models is indicated in the upper right corner of each panel. Hatching indicates regions where the multi-model mean change is less than one standard deviation of inter-model variability. Shading indicates regions where the multi-model mean change is greater than two standard deviations of inter-model variability and where

(IPCC 2013)



(篠田 2009)

## まとめ

- 乾燥地は世界の40%、砂漠化はその10-20%
- 砂漠化には気候的・人為的要因が複合
- 砂漠化プロセスは自然的・人為的条件により地域で多様
- 1950年以降、干ばつの頻度・強さは西アフリカ・地中海で増加。これに対する人間活動の関与の確信度は低い
- RCP8.5シナリオのもと、21世終わりまでに、乾燥地で土壤水分が減少、農業干ばつが増加(確信度は中位)→乾燥地vs湿潤地、乾季vs雨季のコントラスト増

## 砂漠化防止 vs 砂漠緑化

- 砂漠化防止:砂漠化が進行中の地域(砂漠の周辺)で行われる処方。緑化のみならずさまざまな方法。
- 砂漠のなかで行われる緑化(植林)
- 伝統技術から適正技術へ:安価で、使いやすく、環境に負荷をかけず、文化的に受け入れられる

## レポート課題

- ① RCP8.5シナリオのもと、東アジア乾燥地の地表水収支は21世紀終わりにどのように変化すると予測されているか述べなさい。
- ② ①地域内にある特定の地域を取り上げ、現在発生している砂漠化現象の特徴とそれに関与している自然要因、人為的要因について述べなさい。
- ③ ②の砂漠化現象に対して、①の将来の水収支が及ぼすと考えられる影響について述べなさい。

\* A4用紙一枚以内にまとめなさい。