SOUSEI Program for Risk Information on Climate Change
気候変動リスク情報創生プログラム

文部科学省委託事業　気候変動リスク情報創生プログラム
平成27年度公開シンポジウム　10月13日

地球温暖化は異常気象のリスクを変えているのか？～温暖化の影響を推定する～

東京大学 大気海洋研究所

森　正人

with team SPAM

内容

1. 異常気象とは？

2. 異常気象が増えている？
   ～異常気象の長期変化傾向と温暖化の関係～

3. ある異常気象の原因の何%が温暖化のせいなのか？～イベント・アトリビューション（EA）～

4. おわりに

内容

1. 異常気象とは？

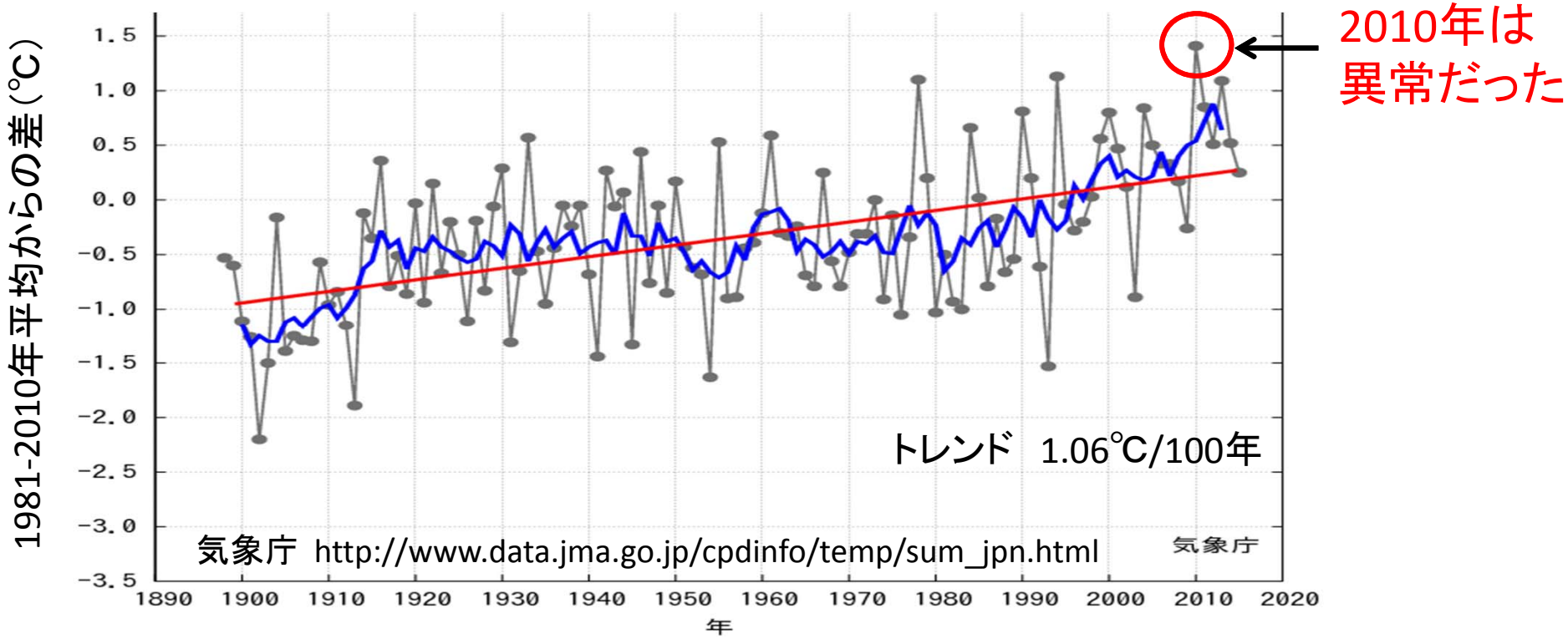
2. 異常気象が増えている？
   ～異常気象の長期変化傾向と温暖化の関係～

3. ある異常気象の原因の何%が温暖化のせいなのか？～イベント・アトリビューション（EA）～

4. おわりに

1-1　異常気象・極端現象とは？（定義）

日本の夏（6～8月）平均気温偏差（1891-2015年）

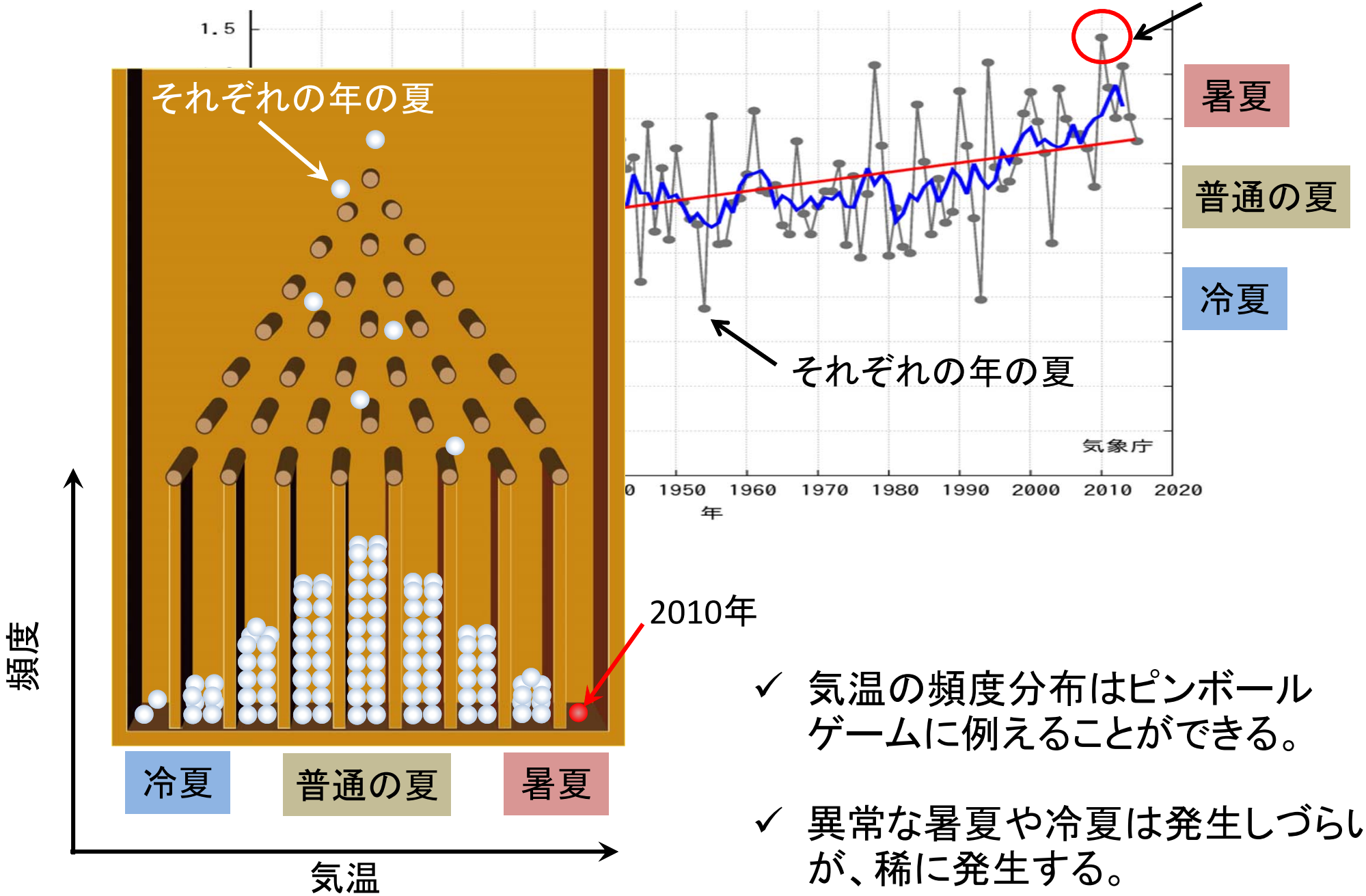


異常気象：　ある地点で30年に1回しか起きないような稀な現象または状態（大雨、強風、冷夏/暖冬）。

極端現象：　ある特定の基準・指標を超える極端な現象（極端な高温/低温、大雨/干ばつ）。毎年起こるような比較的頻繁に起こる現象まで含む。

1-1　異常気象・極端現象とは？（定義）

日本の夏（6～8月）平均気温偏差（1891-2015年）

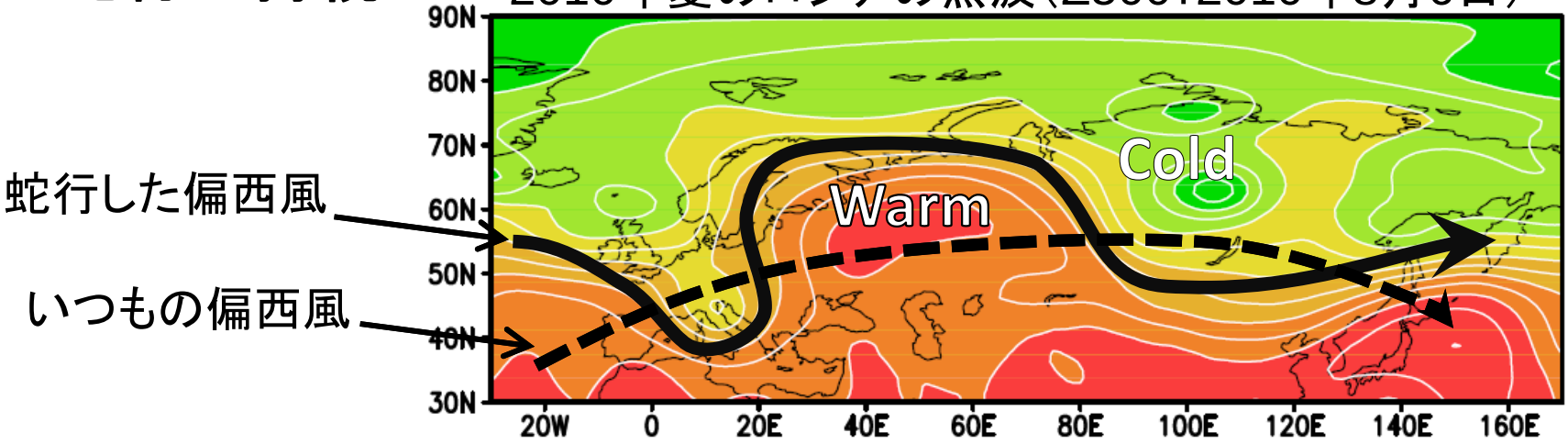


- ✓ 気温の頻度分布はピンボールゲームに例えることができる。
- ✓ 異常な暑夏や冷夏は発生しづらいが、稀に発生する。

1–2　異常気象の主な要因：偏西風の変動

偏西風の蛇行の持続

2010年夏のロシアの熱波（Z500：2010年8月6日）



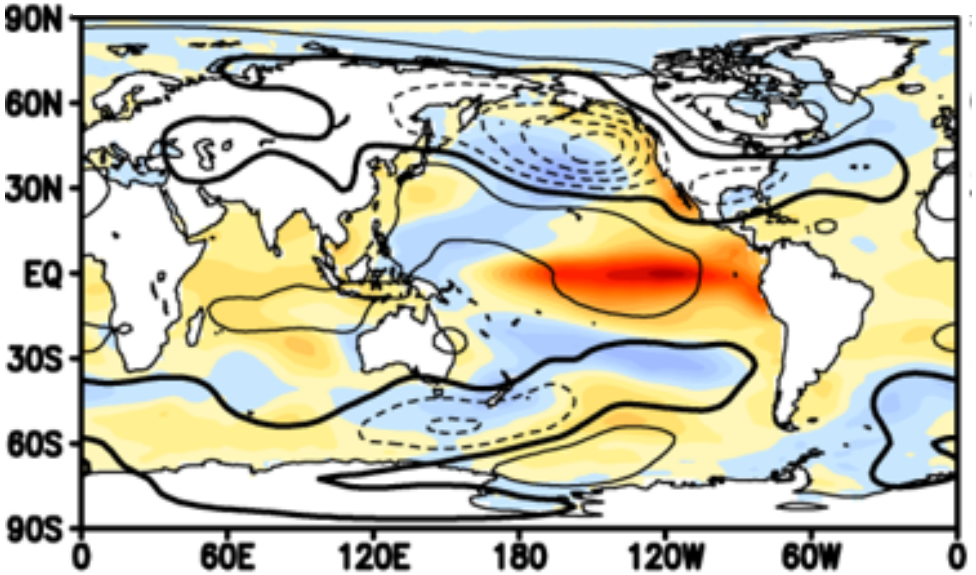
大気の主要な変動モード（ex. 北極振動）

気象研究ノート（2004）より

異常気象は“異常”ではない。大気と海洋などから成る気候システムのゆらぎとして稀に起きる現象。地球に人間が住んでいなかったとしても自然に発生する。

1-3　異常気象の主な要因：エルニーニョ・ラニーニャ現象

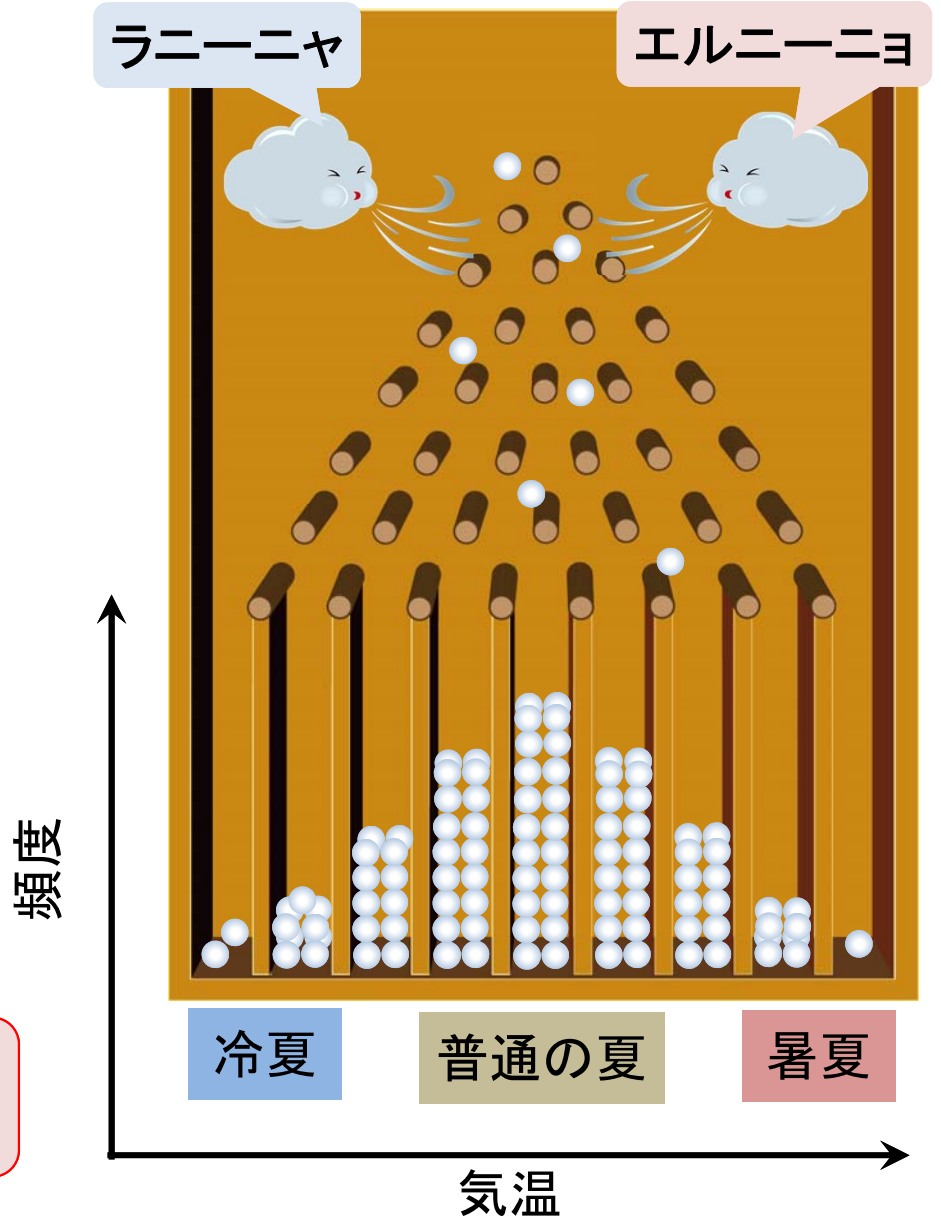
エルニーニョの時の冬（12～2月）の
海面水温（色）とZ500偏差（等値線）



エルニーニョ（ラニーニャ）現象の時
日本は・・・
　夏：低温（高温）傾向
　冬：高温（低温）傾向
ただし、いつでもそうなるわけではない

地球温暖化（人間活動の影響）に伴い、異常気象の起こりやすさは変化しているのか？

夏の場合（内部変動と外部強制）



内容

1. 異常気象とは？

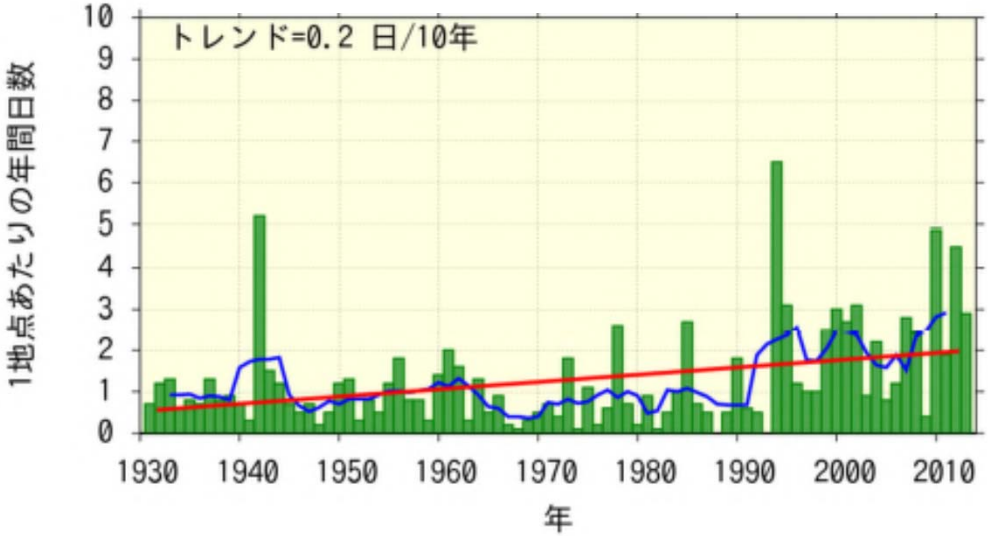
2. **異常気象が増えている？**
   ～異常気象の長期変化傾向と温暖化の関係～

3. ある異常気象の原因の何%が温暖化のせいなのか？～イベント・アトリビューション（EA）～

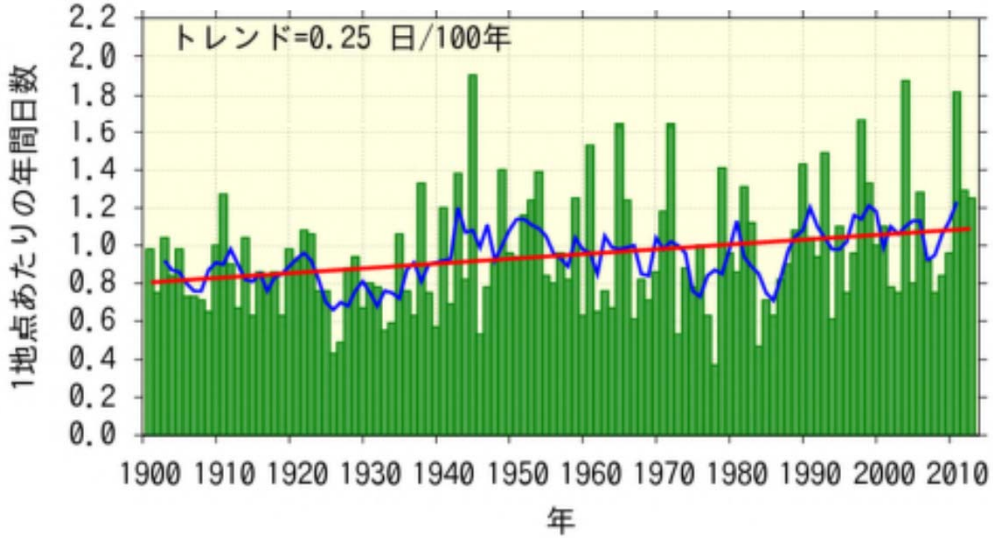
4. おわりに

2-1　異常気象・極端現象の長期変化傾向（日本）

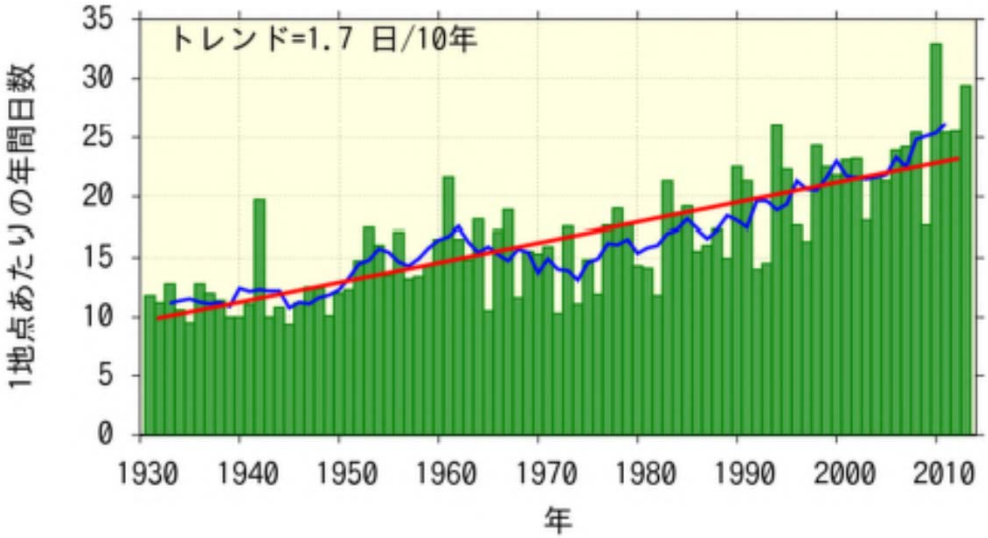
猛暑日（35℃以上）の年間日数



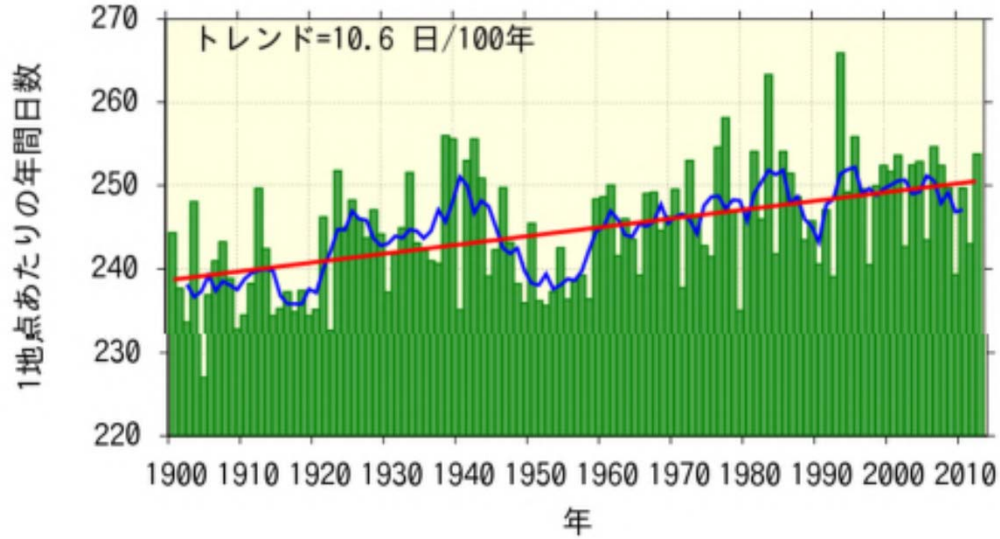
日降水量100ミリ以上の日数



熱帯夜の年間日数



日降水量1ミリ未満の日数（無降水日数）

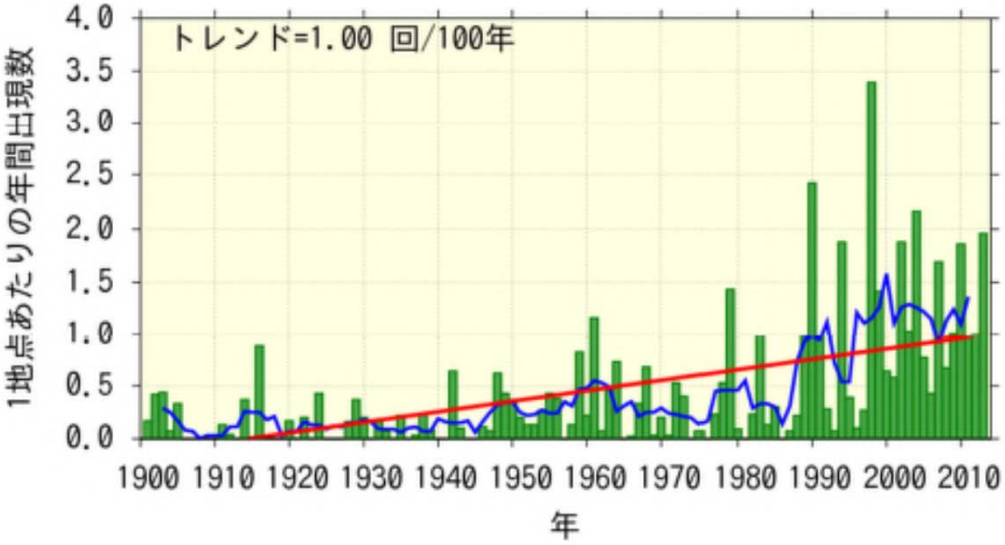


異常気象レポート（2014），気象庁より

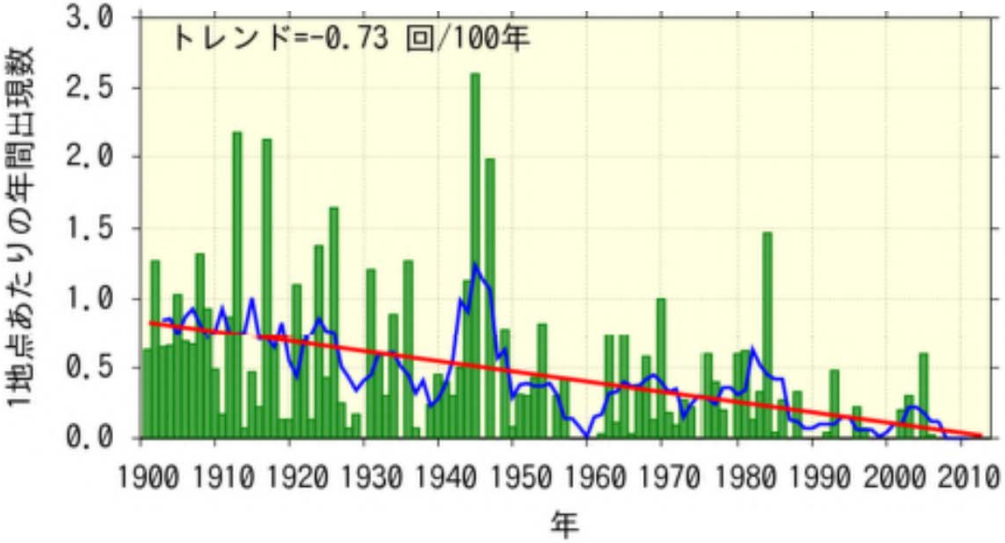
雨の降り方が極端化してきている

2-1　異常気象・極端現象の長期変化傾向（日本）

異常高温の出現率



異常低温の出現率



異常気象レポート（2014），気象庁より

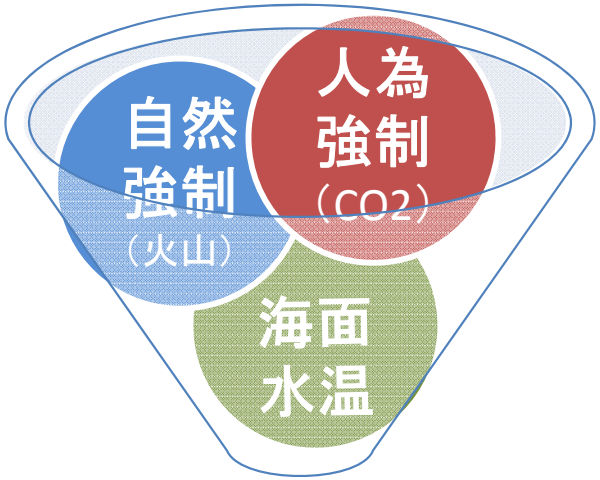
全国的に異常高温の出現頻度は増加し、異常低温の出現頻度は減少している。

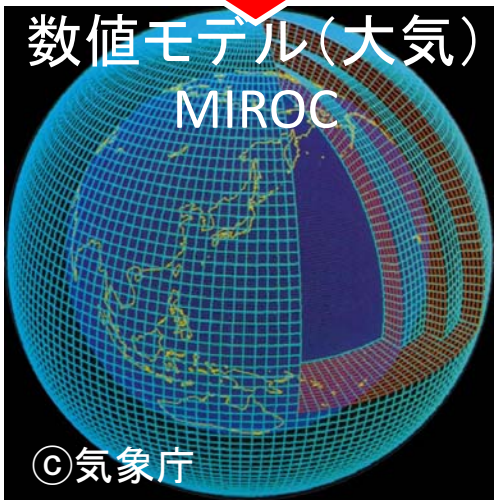
- ◆ 同様の現象が地球全体で観測されている
- ◆ 気候モデルによって予測された将来気候の傾向と整合している
- ◆ 従って、温暖化の影響が現れている可能性が高い
- ◆ <u>では、人間活動の影響を、定量的に推定できないか？</u>

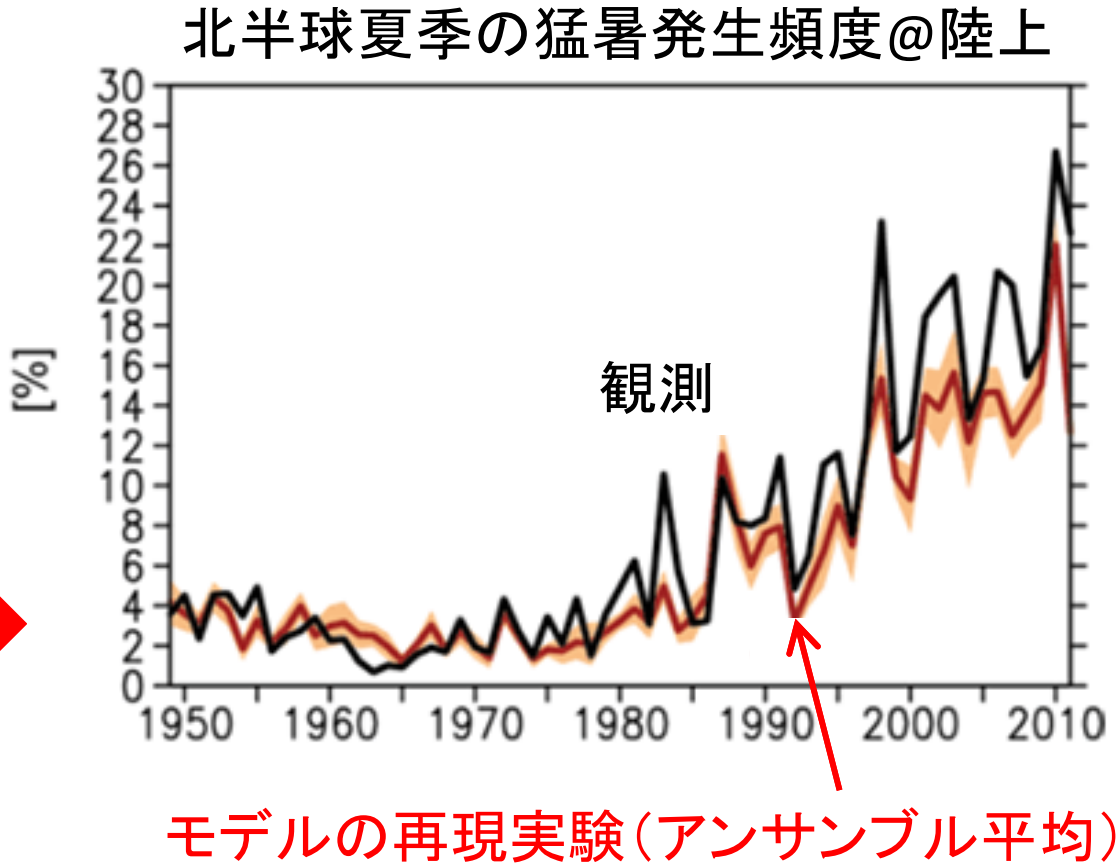
2-2　猛暑の発生頻度の Detection ＆ Attribution（D&A, 気候変動の検出と要因分析）

検出　　:「既に気候は変化しているのか？」

要因分析:「変化しているなら、どのような要因が効いているのか？」



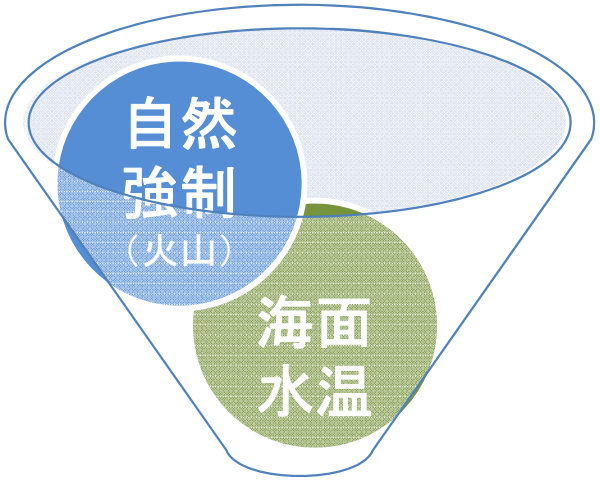


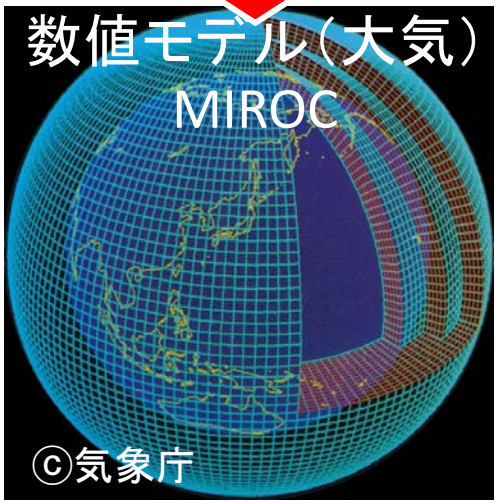


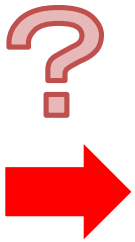
2-2　猛暑の発生頻度の Detection ＆ Attribution（D&A, 気候変動の検出と要因分析）

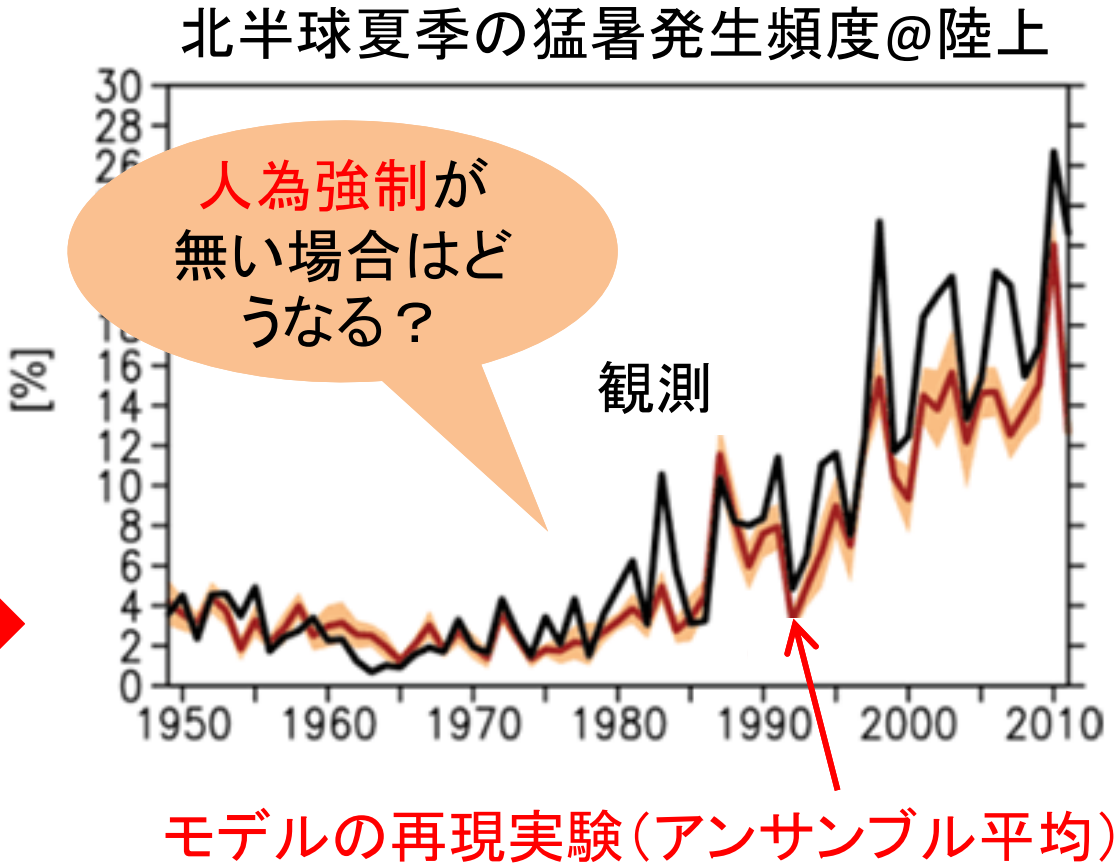
検出　　:「既に気候は変化しているのか？」

要因分析:「変化しているなら、どのような要因が効いているのか？」



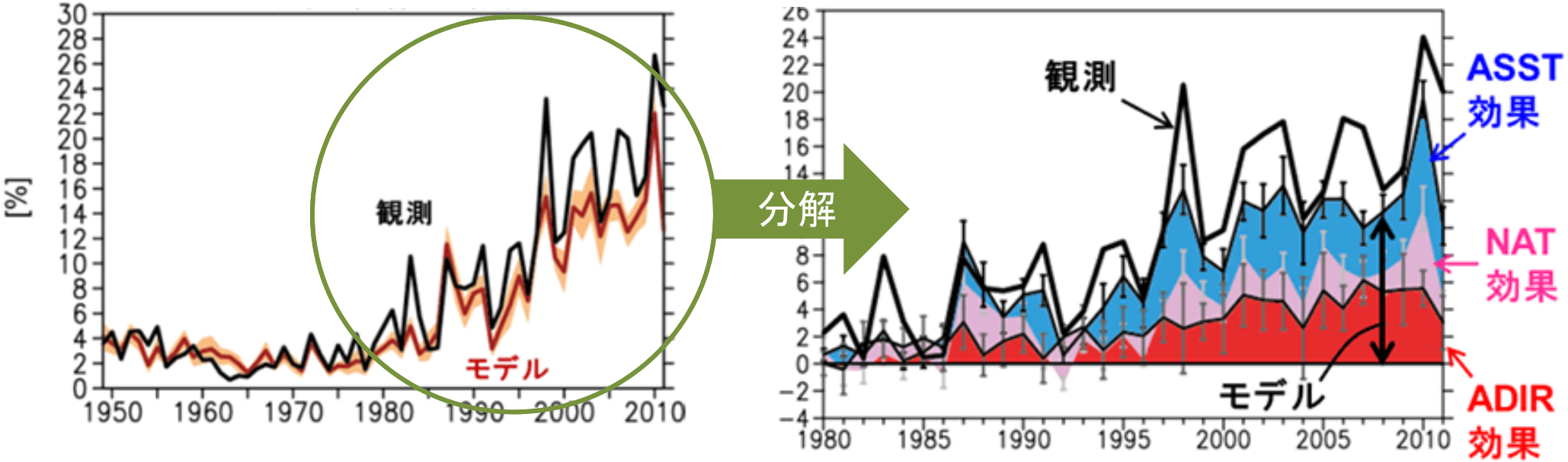






2–3　猛暑発生頻度のD&A：温暖化の影響を見積もる

北半球夏季の猛暑発生頻度



観測　≒　ASST　＋　NAT　＋　ADIR

ASST：　海の温暖化を通した人間活動の影響
NAT　：　自然変動と自然起源外部要因（火山の影響）
ADIR：　海の温暖化以外の人間活動の影響（直接的な陸面の昇温）

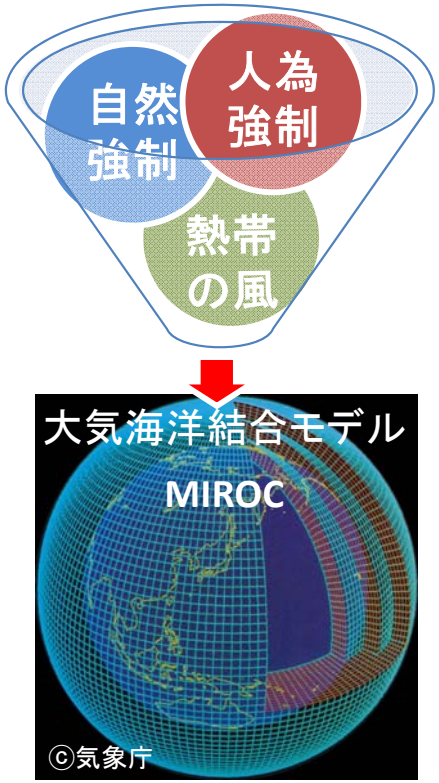
✓ 人間活動の影響（CO2など）が猛暑の発生頻度を増加させている。

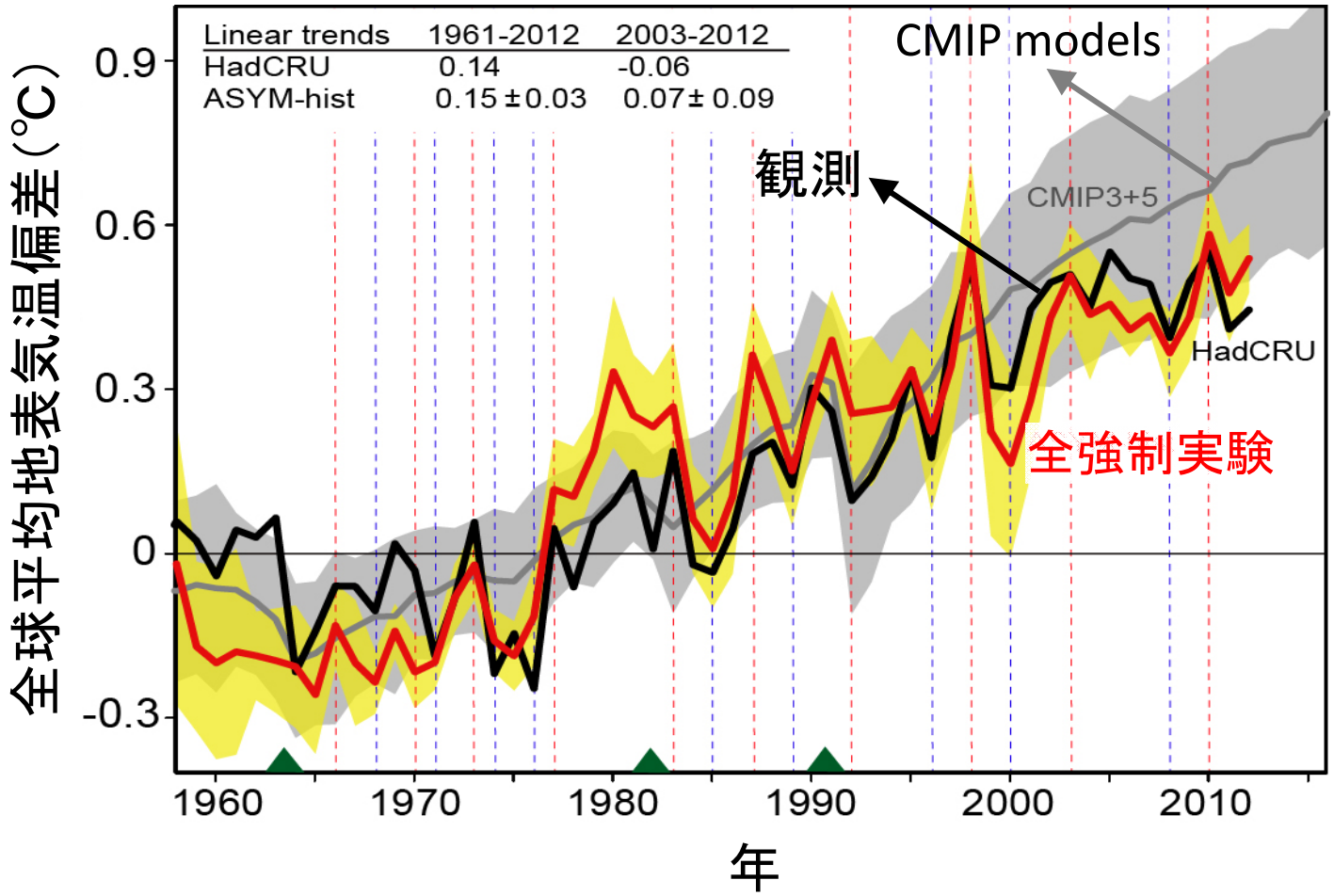
✓ ハイエイタス期であっても陸上の熱波頻度は増加している（CO2の直接効果）。

Kamae et al. (2014), *GRL*

2-4　地球温暖化の停滞（ハイエイタス）の要因分析

2000年代に入って、地球温暖化が停滞している（ように見える）。

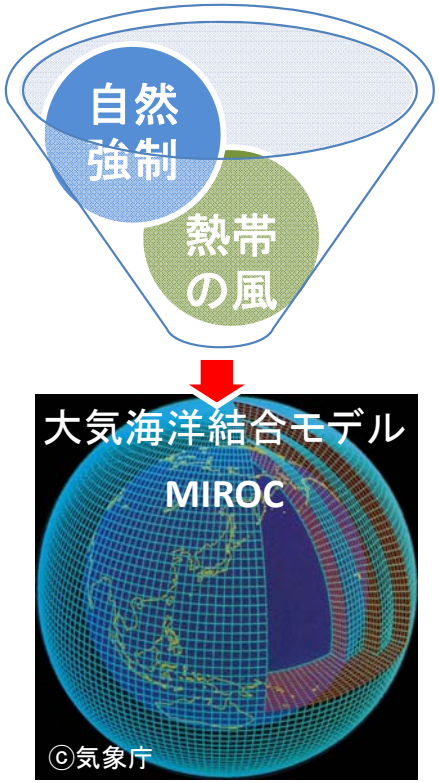


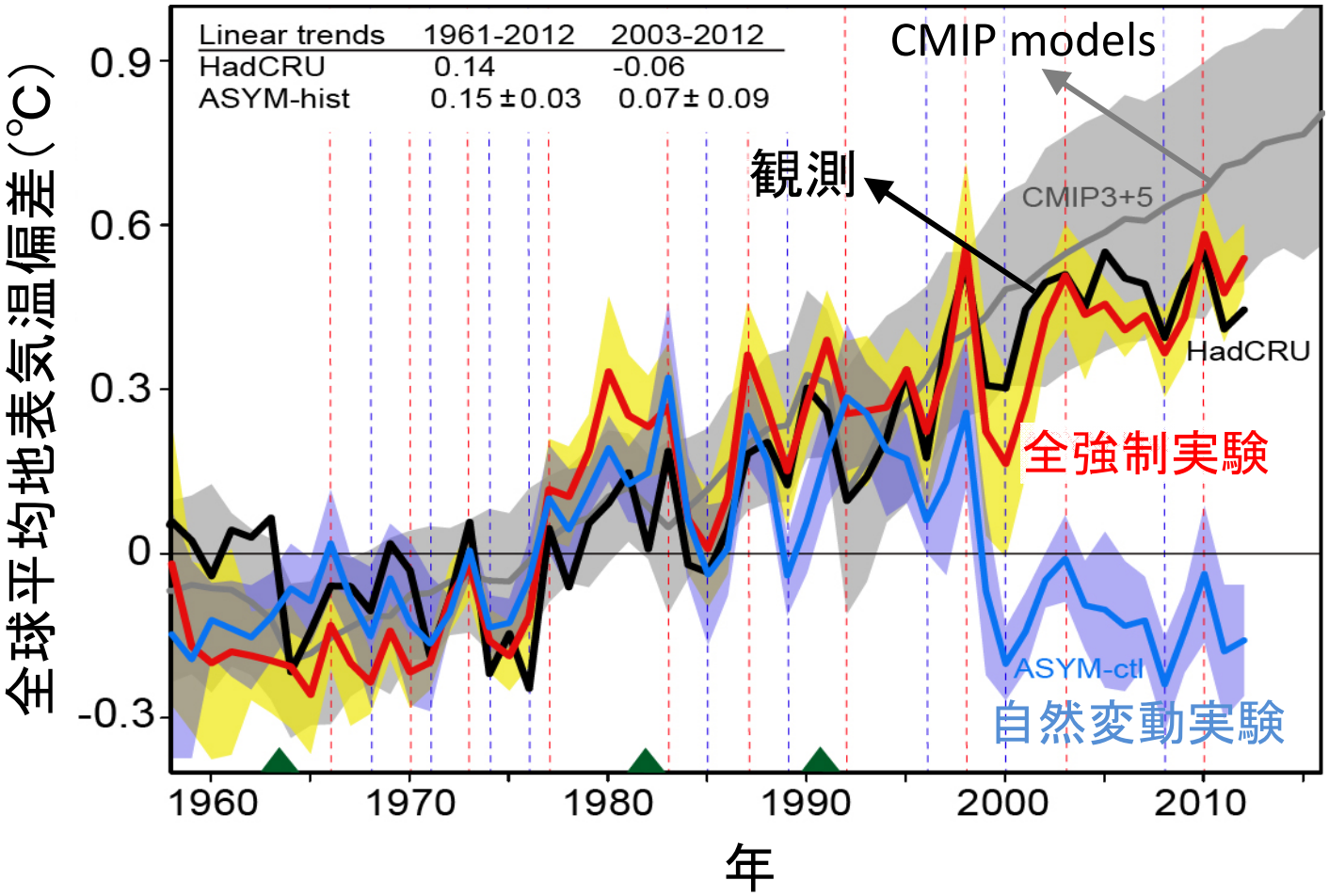


Watanabe et al. (2014), *Nature CC*

2-4　地球温暖化の停滞（ハイエイタス）の要因分析

2000年代に入って、地球温暖化が停滞している（ように見える）。





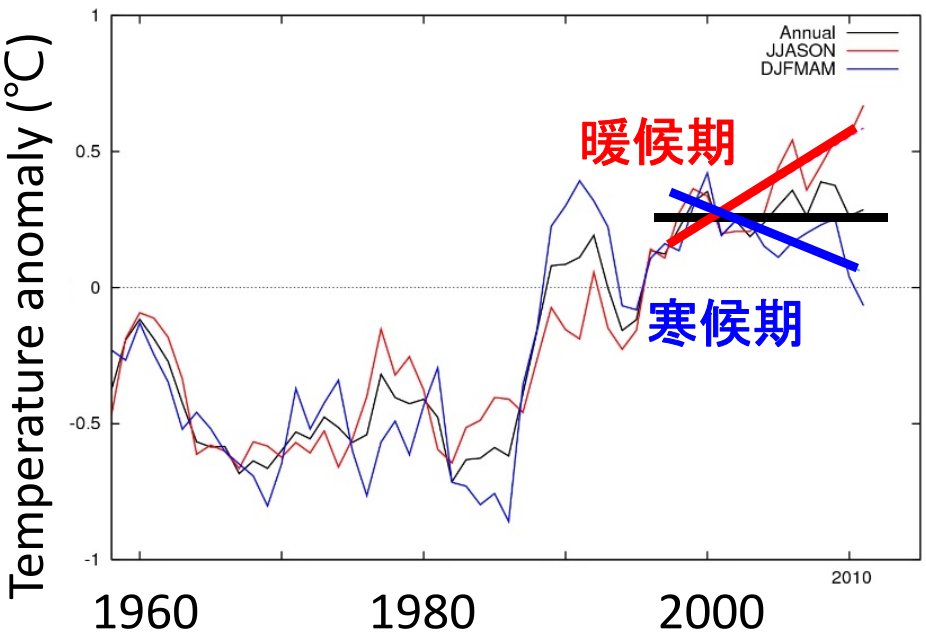
10年規模の自然変動が、1980～90年代の温暖化の加速と2000年代の温暖化の停滞に本質的に寄与している。

Watanabe et al. (2014), *Nature CC*

2–5　近年の日本の天候変化

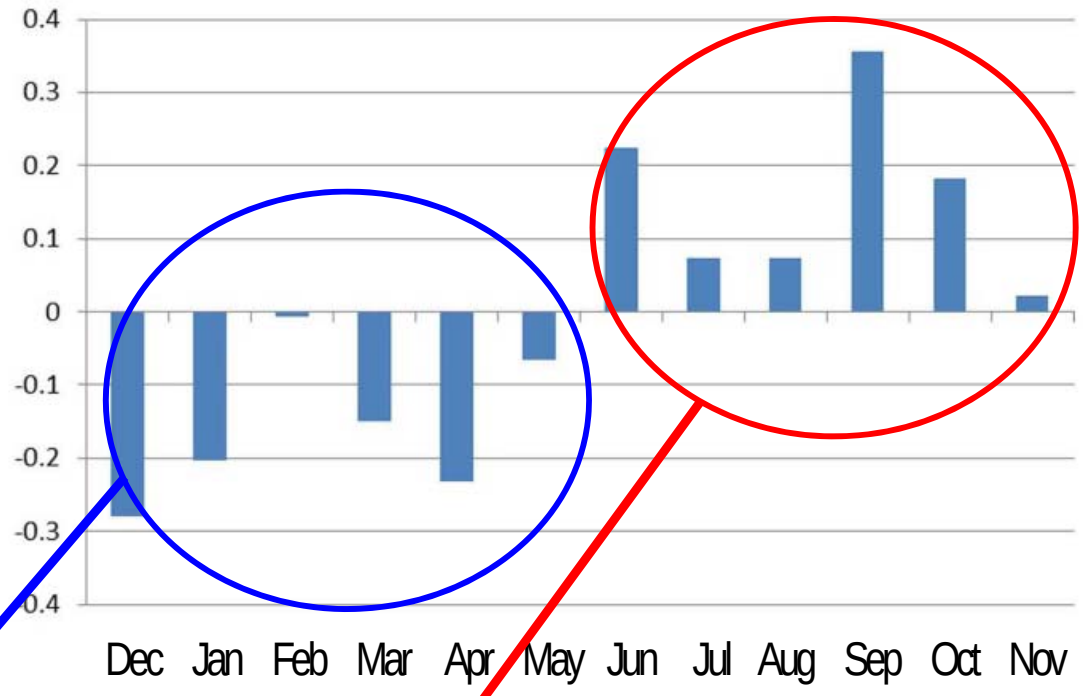
暑いときはさらに暑く、寒いときはさらに寒く

日本の地表気温偏差（5年移動平均）



Urabe & Maeda (2014), *SOLA*

1999-2012年平均の気温偏差（月ごと）



- ✓ なぜ寒冬に？
- ✓ 地球温暖化の影響は？

- ✓ ハイエイタスに伴う西太平洋の温暖化（ラニーニャ like-pattern）による？
- ✓ 地球温暖化の影響は？

Courtesy of M. Watanabe

内容

1. 異常気象とは？

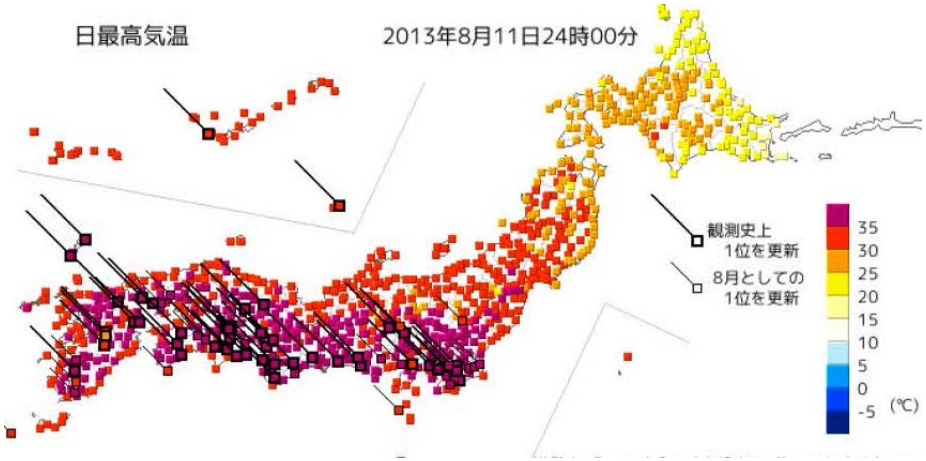
2. 異常気象が増えている？
   ～異常気象の長期変化傾向と温暖化の関係～

3. **ある異常気象の原因の何%が温暖化のせいなのか？**～イベント・アトリビューション（EA）～

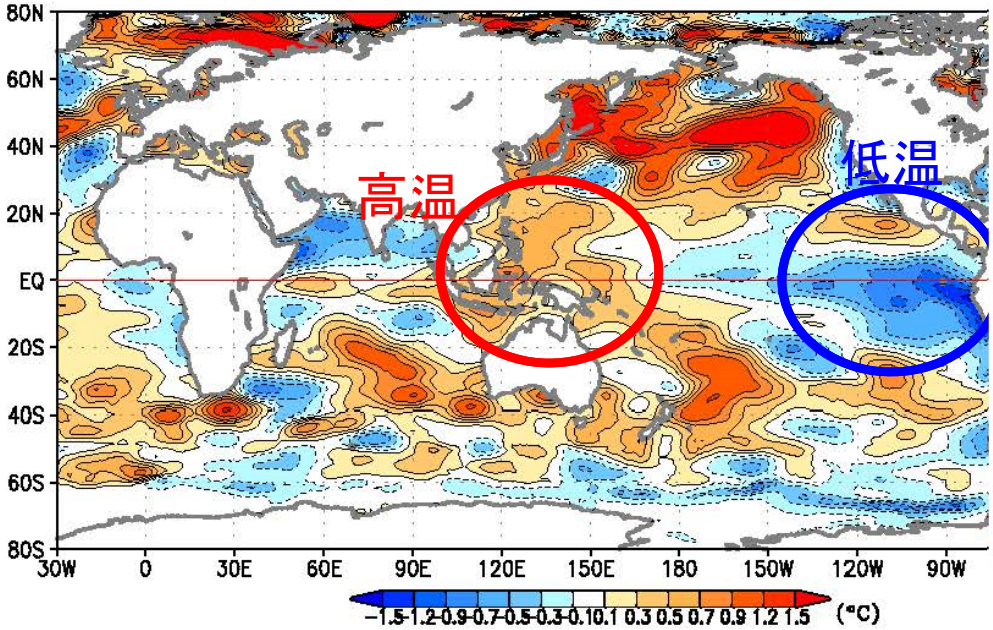
4. おわりに

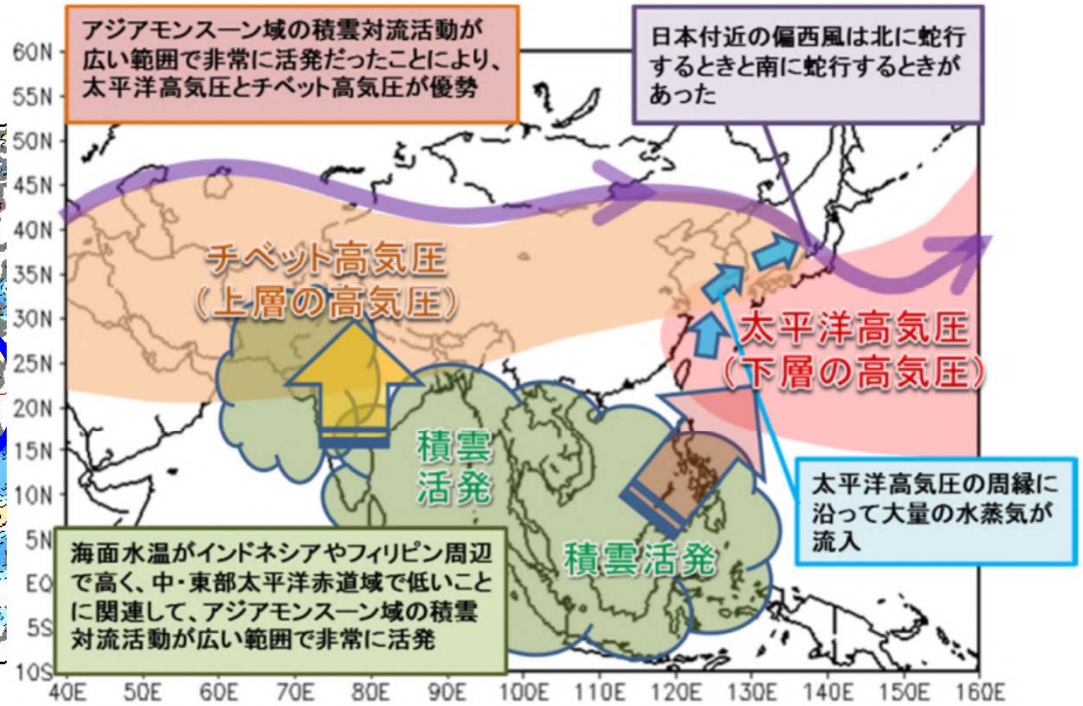
3–1　夏の例：2013年夏（7-8月）の猛暑

- 記録的な猛暑
- 西日本では夏の平均気温が1位（1946年以来）
- 日最高気温の記録を更新（四万十市で41.0℃）
- 143の観測所で日最高気温の記録を更新



2013年7-8月の海面水温偏差





異常気象レポート（2014），気象庁

西太平洋の高い海面水温偏差が太平洋高気圧を強化　→　日本は猛暑

Courtesy of Y. Imada

3–2　イベント・アトリビューション（EA）とは？

一般社会：「この夏の猛暑は地球温暖化のせいですか？」

研究者：「その質問に答えるのは困難です。
なぜなら、猛暑は温暖化していなかったとしても発生するからです。」

しかし

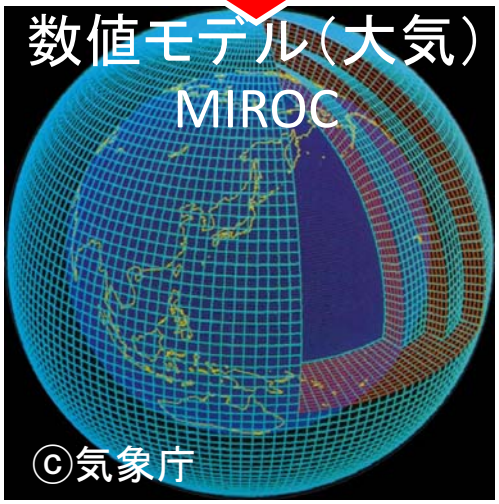
“地球温暖化（人間活動の影響）によって、ある特定の気象イベントの発生確率がどの程度変化していたのか？”を定量化することができるようになってきた。

probabilistic event attribution (PEA；イベント・アトリビューション)

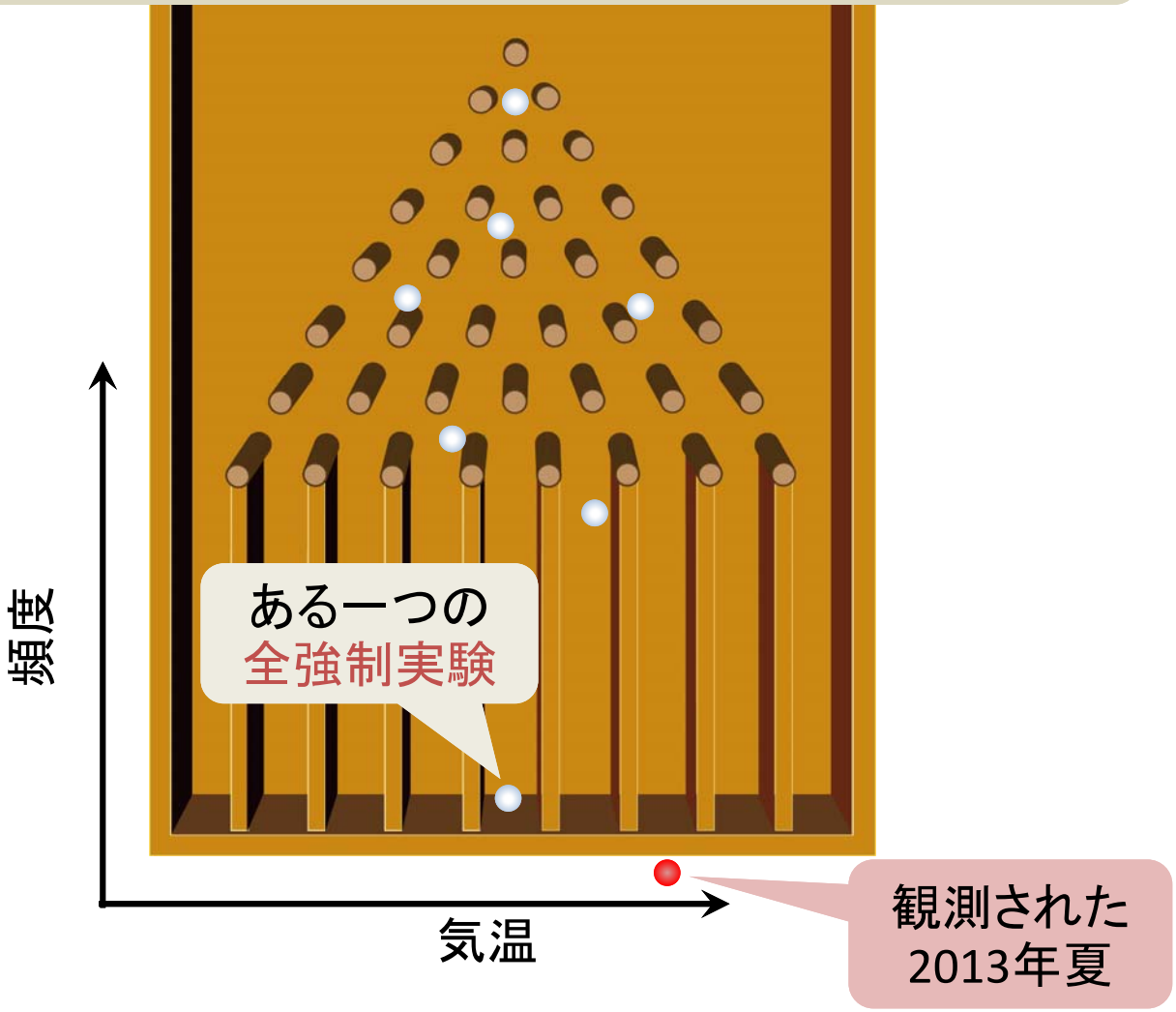
Courtesy of H. Shiogama

3–3　イベント・アトリビューション（EA）の仕組み

全強制実験

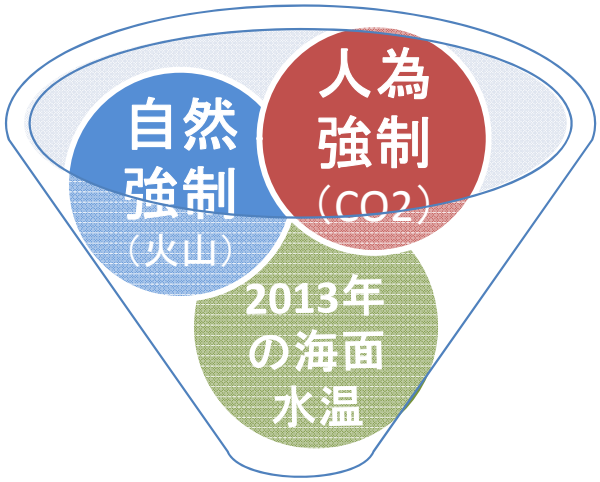


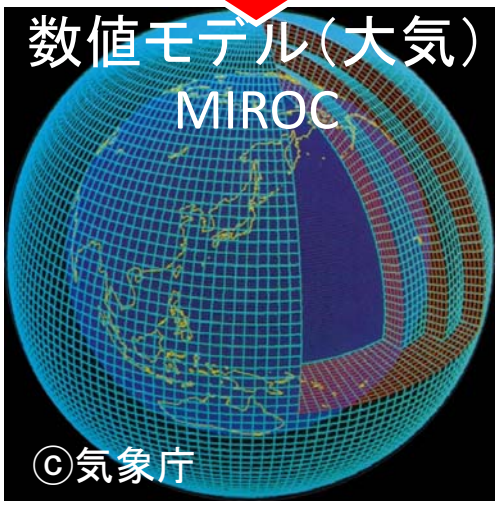
2013年夏という条件下での猛暑の発生確率を求めるため、実験を100回繰り返す（アンサンブル実験）



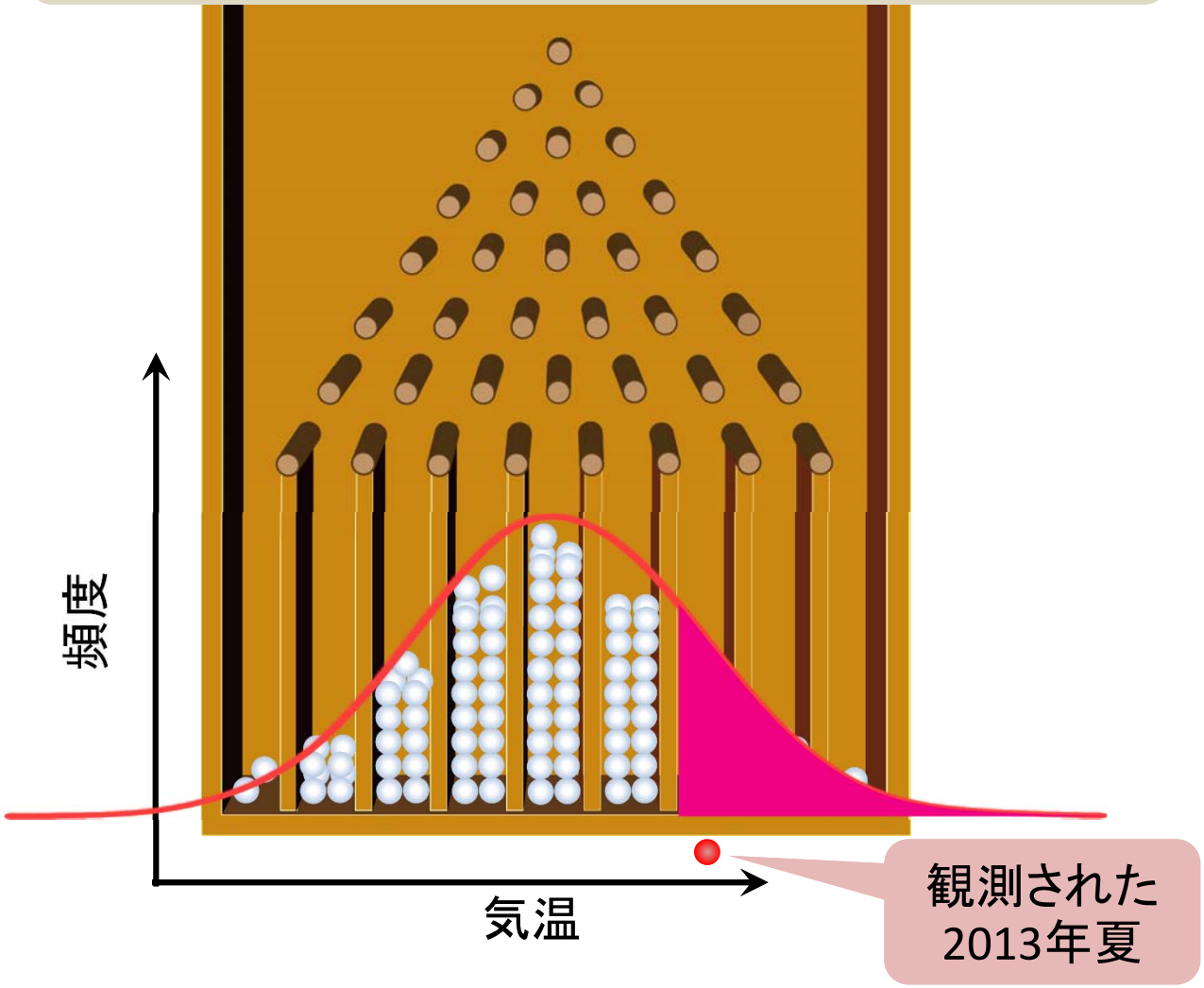
3-3　イベント・アトリビューション（EA）の仕組み

全強制実験





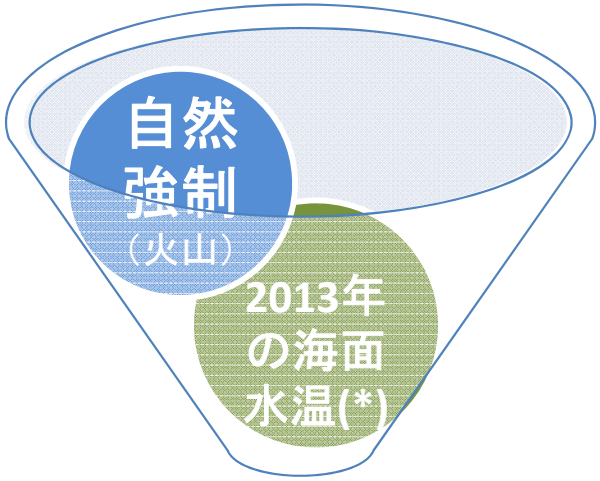
2013年夏という条件下での猛暑の発生確率を求めるため、実験を100回繰り返す（アンサンブル実験）



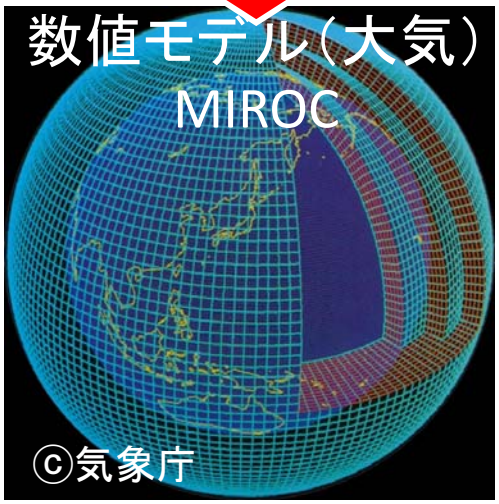
- 2013年の夏が、実際に観測されたような猛暑あるいはそれ以上の猛暑になる確率は **XX %**（赤の面積）。

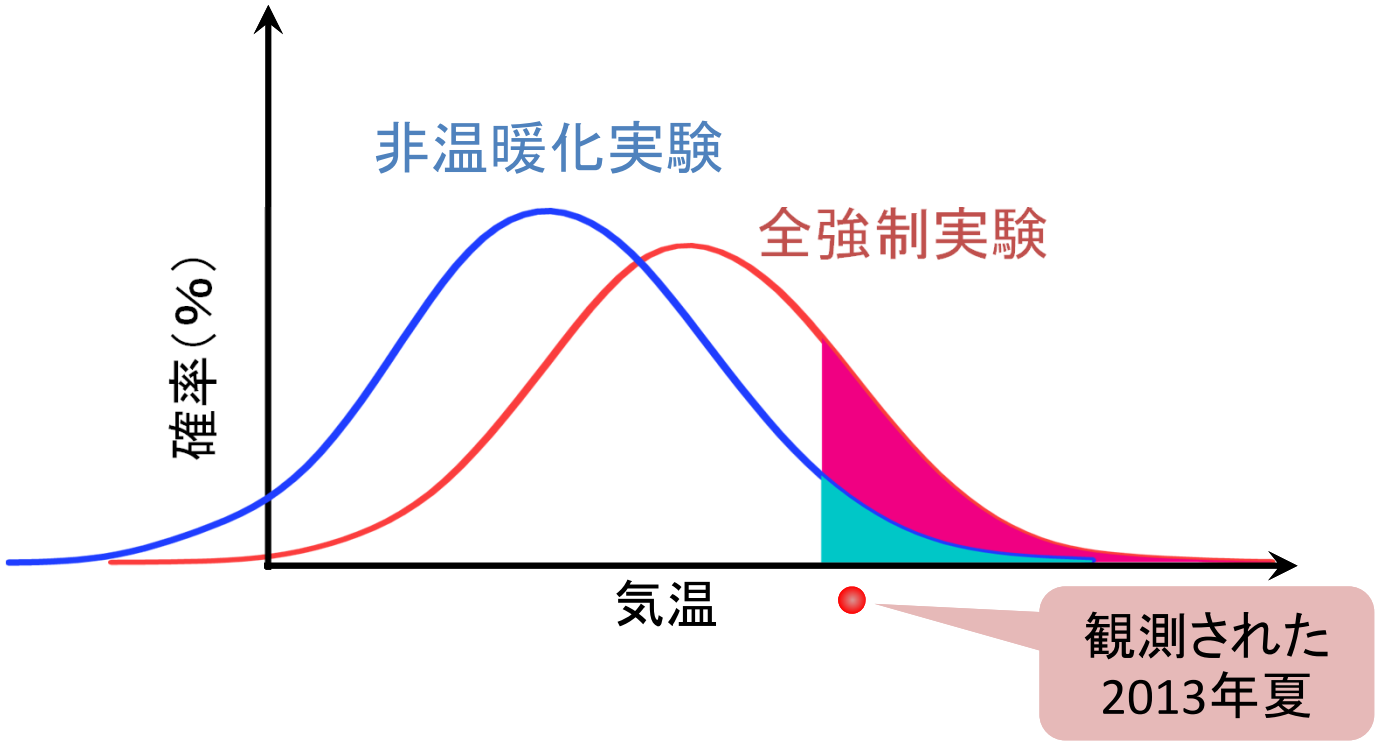
3–3　イベント・アトリビューション（EA）の仕組み

非温暖化実験（温暖化がない世界）



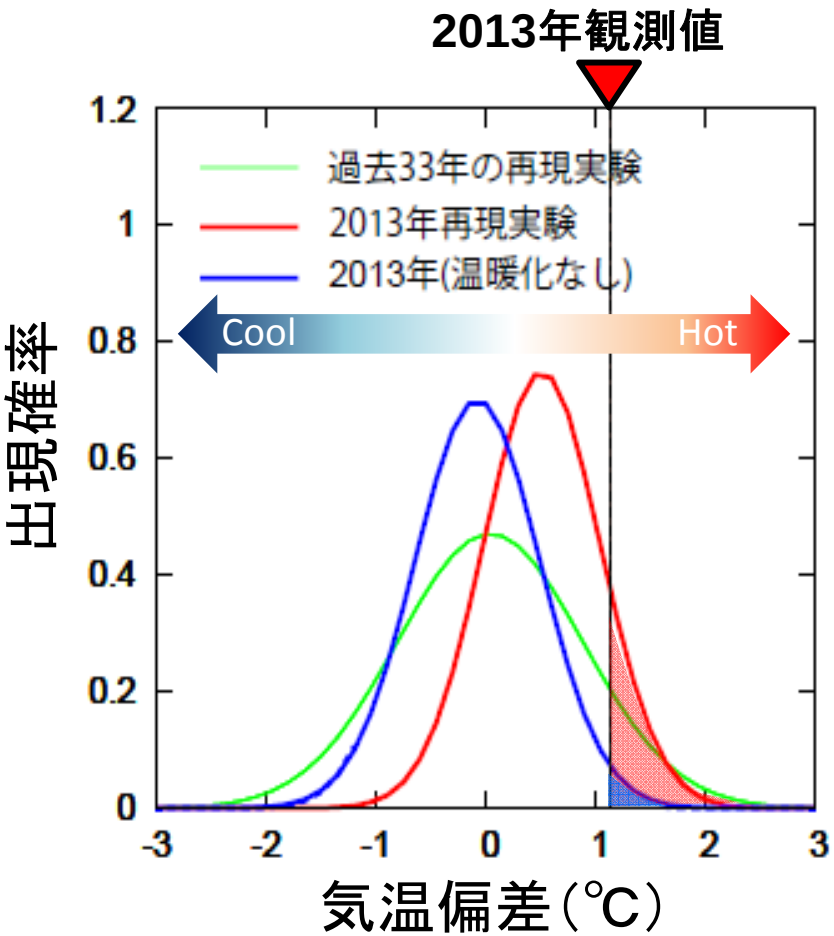
(*) モデルに与える2013年の海面水温から、
温暖化によって上昇した分をあらかじめ除いておく。

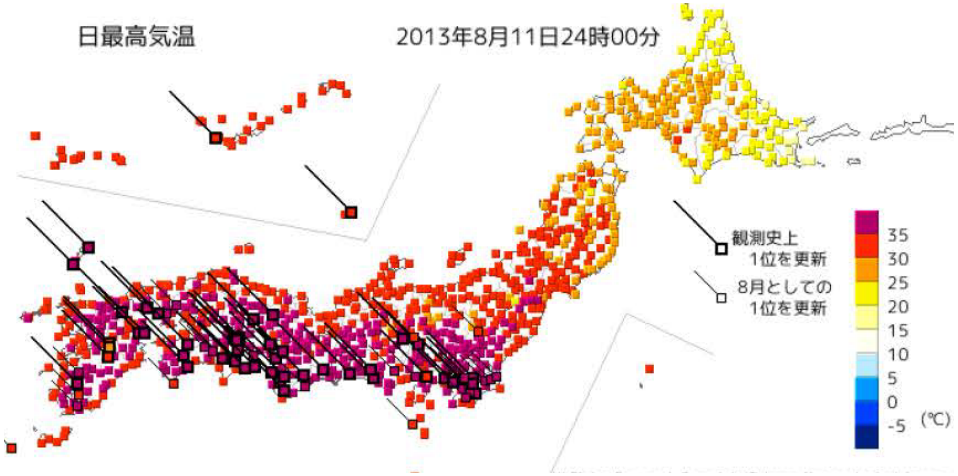




- 2013年の夏が、実際に観測されたような猛暑あるいはそれ以上の猛暑になる確率は **XX %**（赤の面積）。
- 温暖化は 2013年夏が猛暑になるリスクを YY %（赤 – 青の面積）増加させていた。

3–4　2013年夏（7-8月）の猛暑のEA：温暖化の影響を見積もる





2013年夏が、実際に観測されたような猛暑あるいはそれ以上の猛暑になる確率

全強制実験（ALL）	非温暖化実験（NAT2, NAT1）
12.4%	0.5 – 1.73%

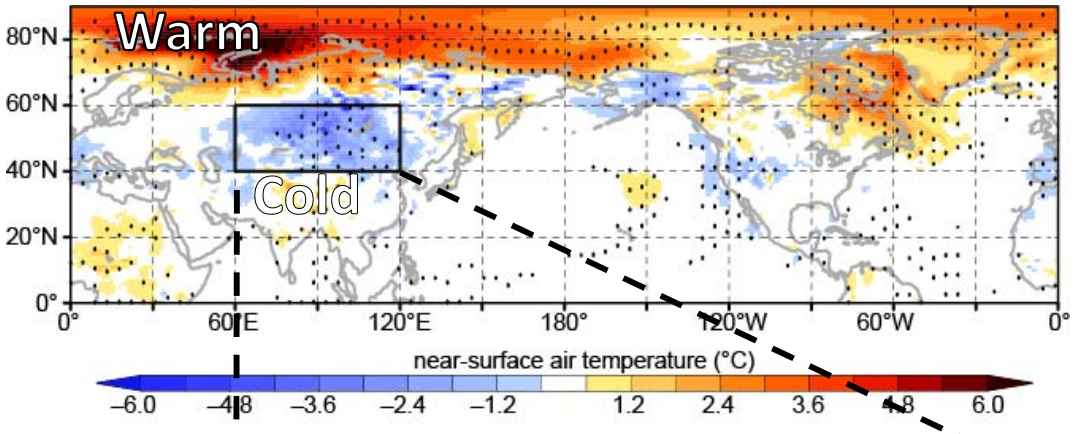
- 人間活動の影響が、猛暑になるリスクを約10%増加させていた。
- 非温暖化実験で用いる境界条件（海面水温&海氷）の見積もり方によって確率に幅が出てしまう。

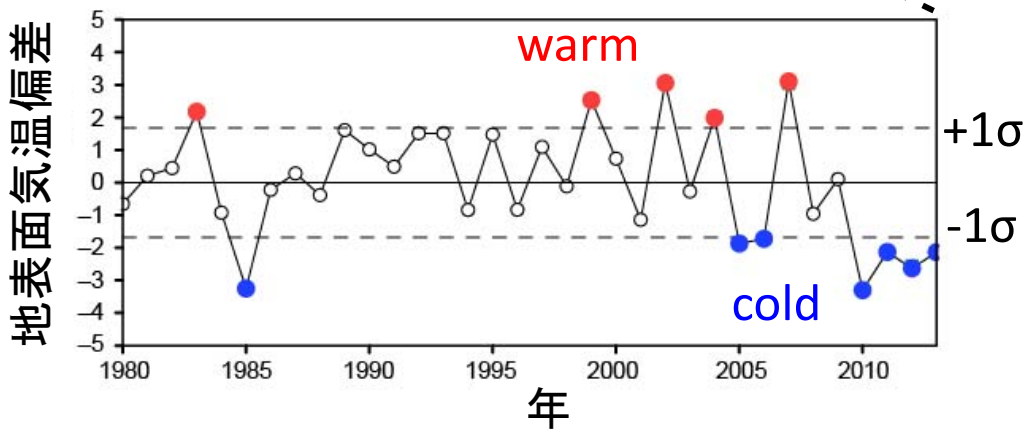
Imada et al. (2014), *BAMS*

3-5　冬の例：東アジアで近年頻発している寒冬
：北極海海氷の減少の影響

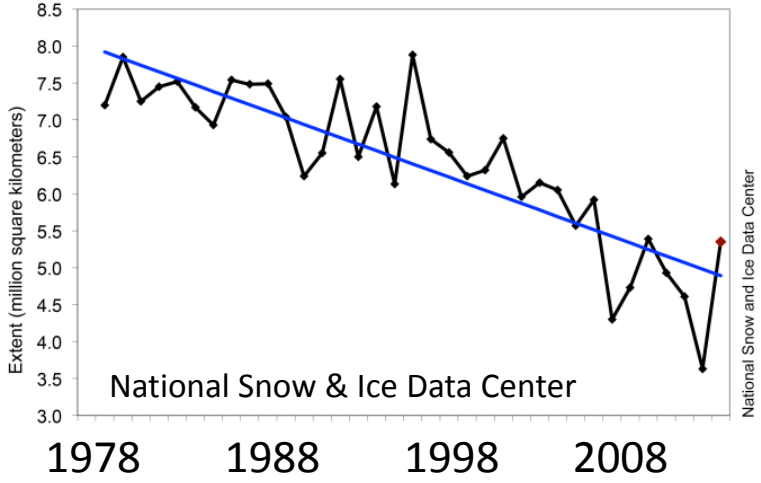
- ✓ 北極は全球平均よりも2倍以上の早さで温暖化している（北極温暖化増幅現象）
- ✓ ユーラシア大陸中央部～東アジアでは寒冷化　→　何故？

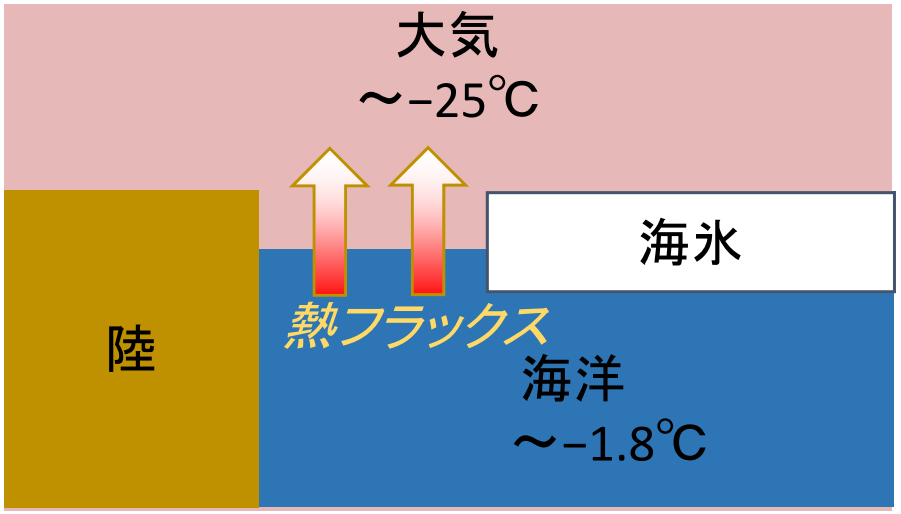
最近10年の冬（12～2月）の地表面気温の変化（2004-2013 マイナス 1994-2003）





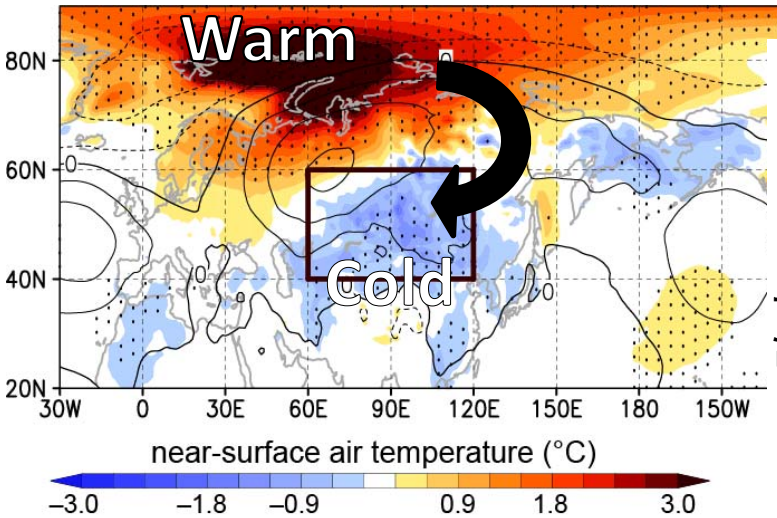
9月の北極海海氷の面積



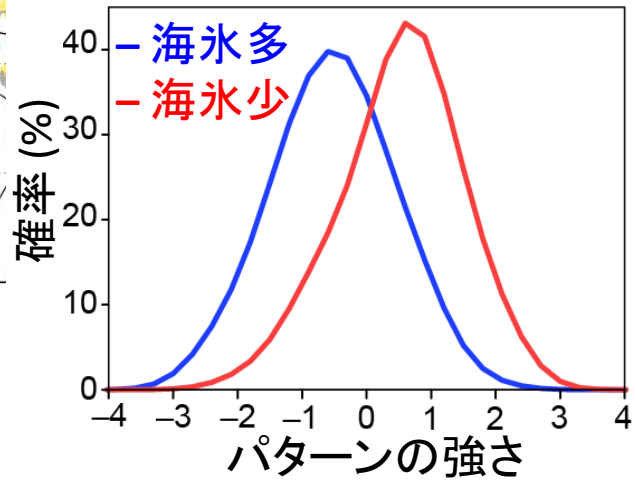


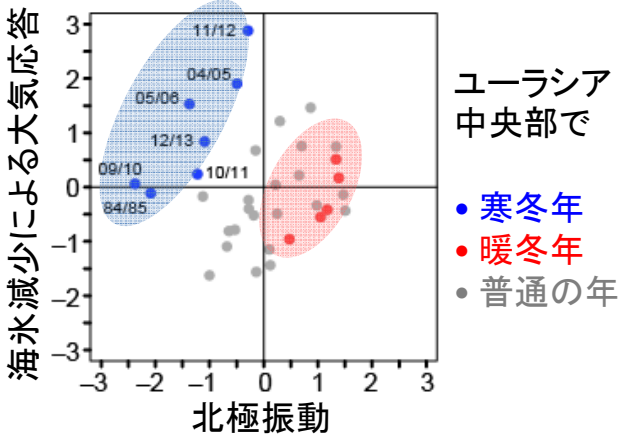
3-5　寒冬＝海氷減少の影響 ＋ 負の北極振動

海氷の減少に伴う冬の気温（色）と気圧（線）偏差

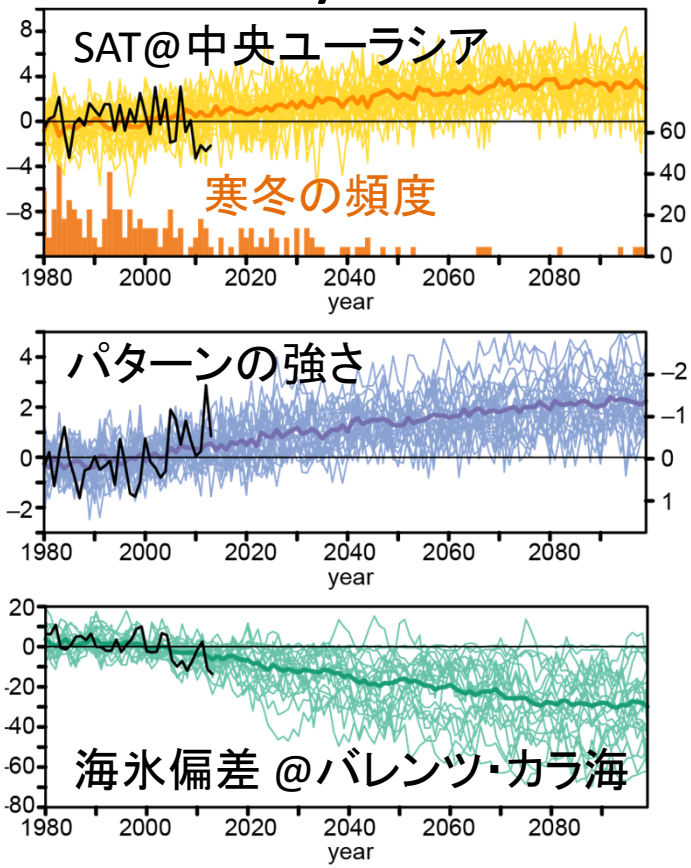


左のパターンの出現確率





将来予測 by CMIP5:



- 海氷の減少は大気循環パターン（左図）の出現確率を増加させる（右図）。上空で偏西風の蛇行（ブロッキング）を伴う。
- その結果、海氷が少ない時に中央ユーラシアで寒冬になる確率が2倍になる（海氷が多い時に比べて）。
- しかしながら、内部変動（「北極振動」）の影響も重要。近年頻発している寒冬は、海氷の減少に対する大気応答と北極振動の組み合わせで説明される。
- 寒冬の頻発は温暖化が進行する過程で起きる過渡現象だと考えられる（いずれ温暖化の影響が勝る）。

Mori et al. (2014), *Nature Geo.*

3–6　創生Aで行ったアトリビューション研究

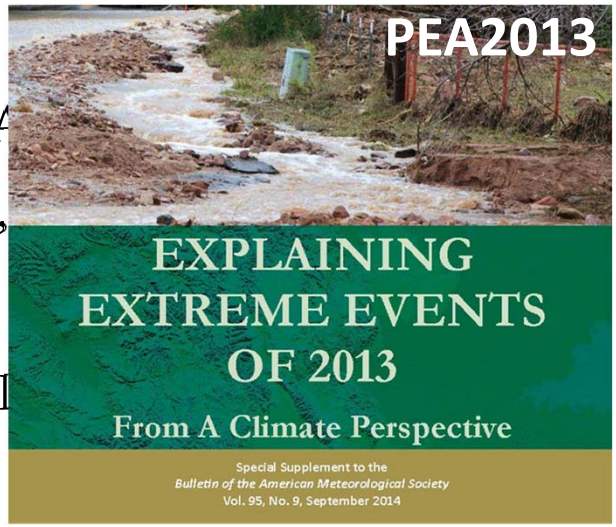
time scale of attribution

Individual events

Long-term change

Probabilistic Event Attribution (PEA)

- 2010年ロシアの熱波 (Watanabe et al. 2013, SOLA
- 2010年アマゾンの干ばつ (Shiogama et al. 2013,
- 2012年日本の豪雨 (Imada et al. 2013, BAMS)
- 2013年アメリカの熱波 (Shiogama et al. 2014, SOI
- ⊙2013年日本の猛暑 (Imada et al. 2014, BAMS)



Attribution of recent Arctic sea-ice loss

- ⊙近年のユーラシアの寒冬 (Mori et al. 2014, Nature Geo.)

Attribution of long-term climate changes

- ⊙地球温暖化の停滞（ハイエイタス） (Watanabe et al. 2014, Nature Clim.)
- ⊙北半球の夏の熱波 (Kamae et al. 2014, GRL)
- スマトラでの山火事の増加 (Lestari et al. 2014, ERL)

SOUSEI Program for Risk Information on Climate Change
気候変動リスク情報創生プログラム

3-7　イベント・アトリビューションの意義と課題

（意義）特定の気象イベントの要因分析がどうして大事なのか？

① 変わりゆく気候の理解
- メカニズムの検証

② リスクを知る
- 気象イベントに対する温暖化の影響を定量的に推定できる
- 一般社会の疑問に答える
- 温暖化を実感

③ 対策・適応
- 今後起こりうる同様のイベントへの対策・適応

（課題）

✓ **現象の再現性**
- 数値モデルの改良
- 手法の改良（大気海洋結合過程の組み込み）

✓ **不確実性**
- 非温暖化世界をどう見積もるかに結果が依存（検証不可能）

✓ **速報性**
- 現象の発生後なるべく早く分析を行う

内容

1. 異常気象とは？

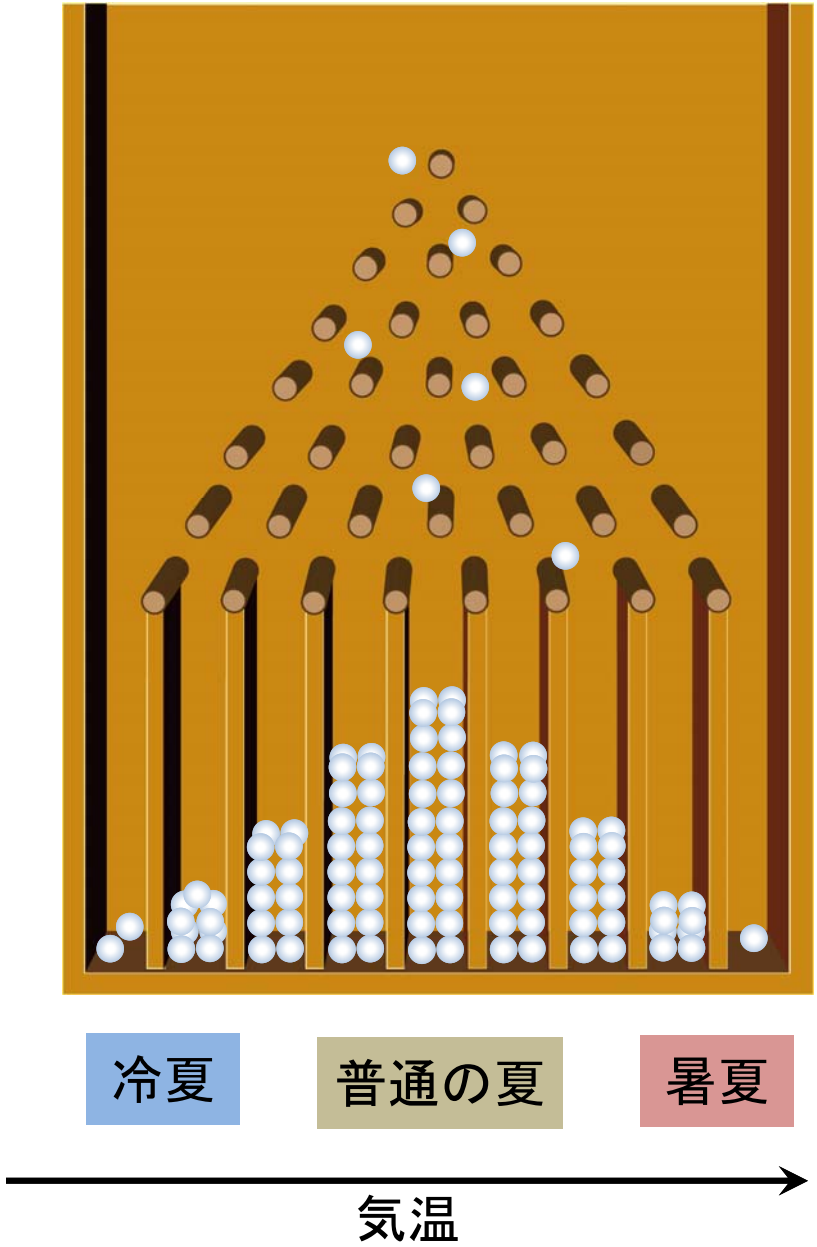
2. 異常気象が増えている？
   ～異常気象の長期変化傾向と温暖化の関係～

3. ある異常気象の原因の何%が温暖化のせいなのか？～イベント・アトリビューション（EA）～

4. おわりに

4 –1　まとめ：地球温暖化は異常気象のリスクを変えているのか？

異常気象は、気候システムの
“ゆらぎ” として自然に発生する。

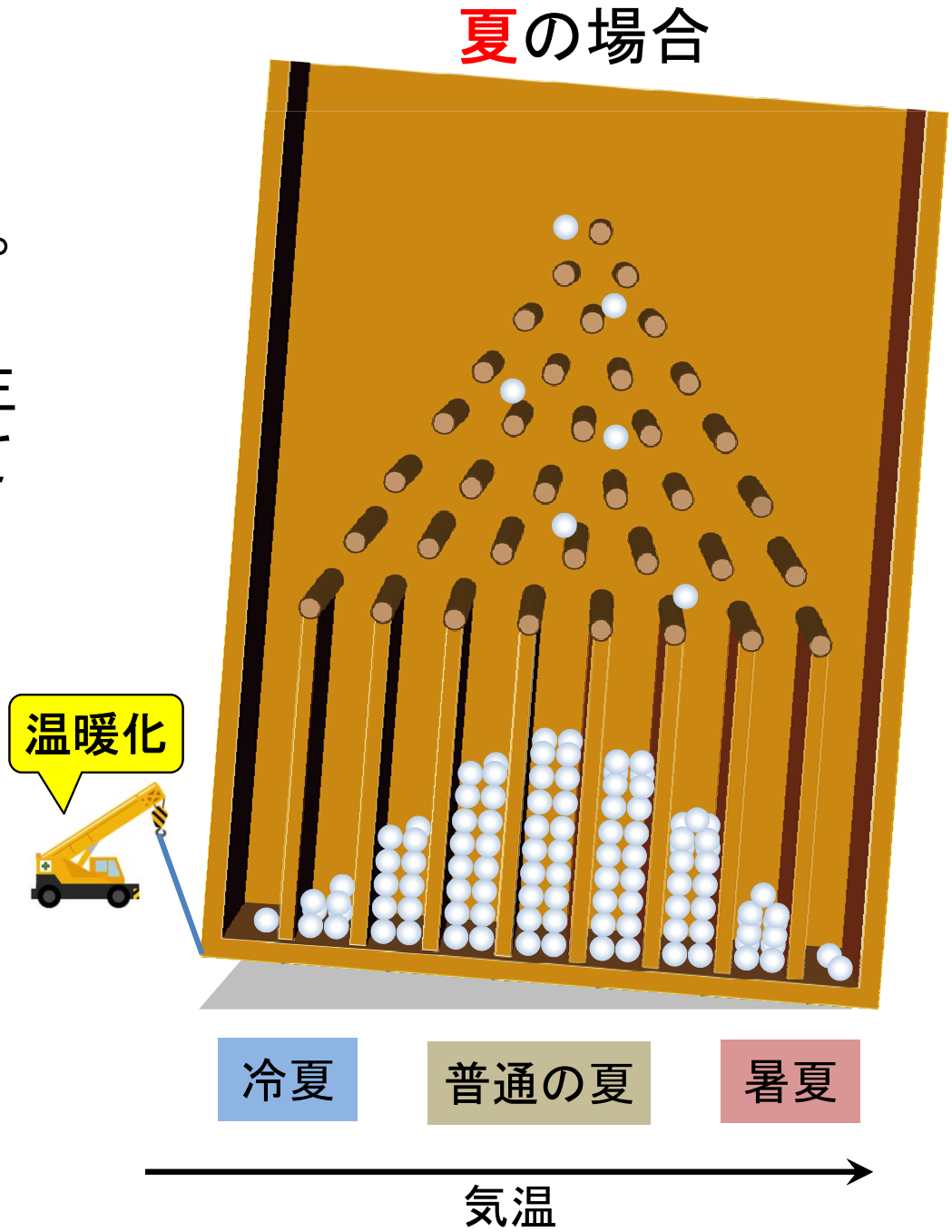


4 –1　まとめ：地球温暖化は異常気象のリスクを変えているのか？

異常気象は、気候システムの
“ゆらぎ” として自然に発生する。

地球温暖化は、異常気象の発生
確率を変えている。それによって

夏の場合
　暑夏のリスクは増える傾向



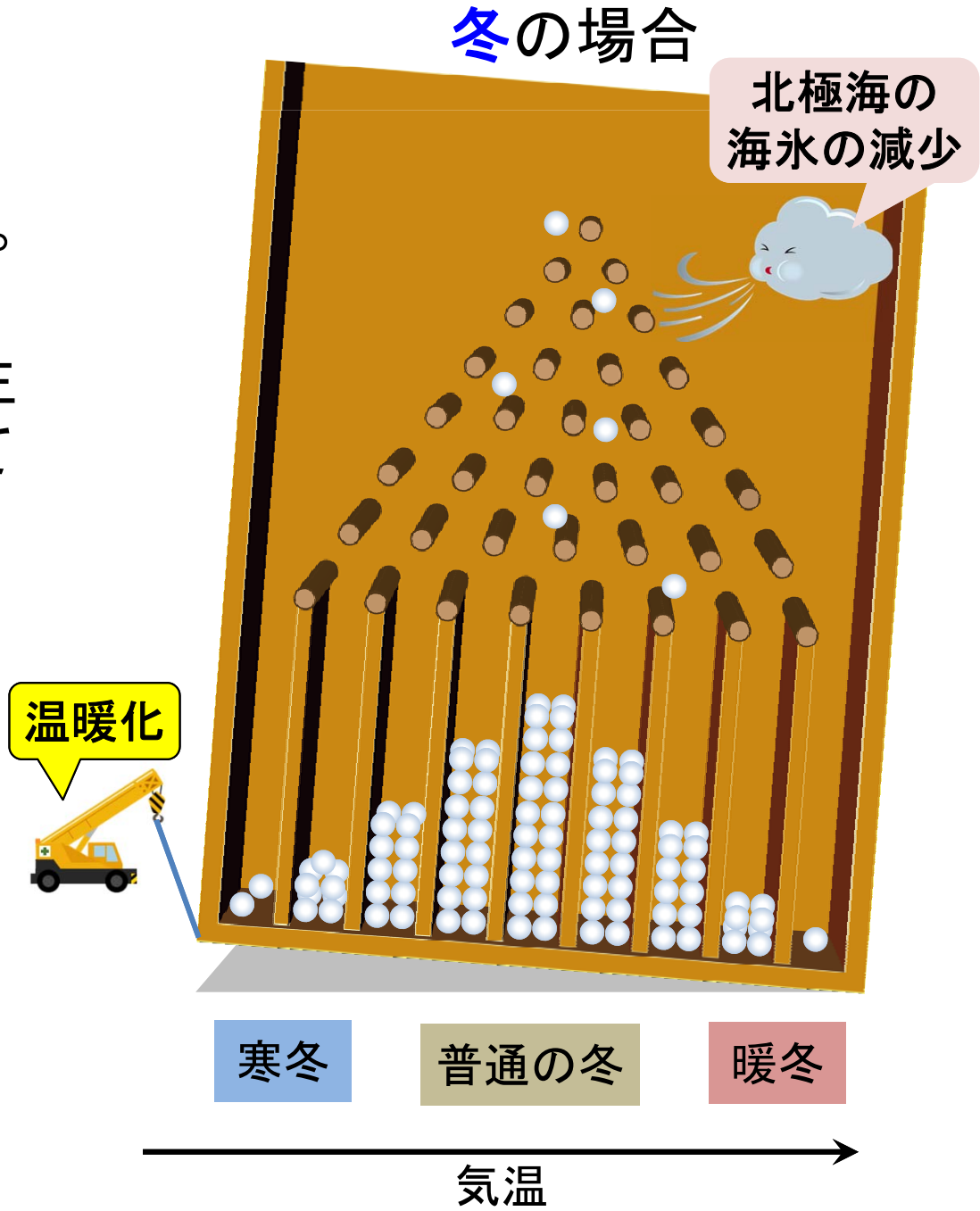
4 –1　まとめ：地球温暖化は異常気象のリスクを変えているのか？

異常気象は、気候システムの
“ゆらぎ” として自然に発生する。

地球温暖化は、異常気象の発生
確率を変えている。それによって

夏の場合
　暑夏のリスクは増える傾向

冬の場合
　寒冬のリスクは今は増えて
　いるが、近い将来は減ると
　考えられる。



ご静聴どうもありがとうございました