

# 地質学と環境（特に気候変動）

高橋裕平（名古屋経済大学 犬山学研究センター 客員教授）

- ・地球では大規模な気候変動が何度もあった。
- ・気候変動要因には温暖化ガスのほか太陽活動や地球の動きなどがある。
- ・対策を講じても温暖化は進行する。短期の社会再構築が必要となる。

# 全球凍結

- 地球全体が氷河におおわれた全球凍結が、22億年前(原生代初期), 7億年前と6億年前(原生代後期)に起こった。
- 大陸をおおう氷河(氷床)が広く分布するようになると、太陽放射をはねかえし、地球の温度は上がらない。
- 氷床がさらに拡大すると一気に赤道付近まで氷床におおわれる。

画像は長谷川裕也氏HPより



# 地質時代の主要事変

先カンブリア時代	古生代	中生代	新生代
4600	541	252	66

地球誕生

原始海洋  
マグマオーシャン

酸素増加  
全球凍結  
2450  
2200

全球凍結  
730  
640

本格的生物出現

氷河時代  
460

氷河時代  
300

生物大量絶滅

概して温暖

生物大量絶滅

氷河時代  
43~

数字はMa (百万年前)

## I .2 人類の歴史の中での気候変動

- 7万4000年前インドネシアトバ火山の巨大噴火(トバカルデラ)  
平均気温10度下がる。  
人類の総人口が1万人から3000人に減る。
- 1万-5000年前(完新世中期)近日点に北半球の夏が来る  
北半球の夏がより暖かく、冬がより寒い。  
その間に大陸氷床が解ける。
- 6000年前縄文時代に海面が上がるのは？  
氷床が解け地殻は上昇、解けた水が集まり海洋底に圧力がかかる。  
海洋底下のマントルが大陸の下へ、陸地が押し上げられる。  
日本列島が隆起して海面が上がったように見える。

# 人類の歴史の中での気候変動(中世一近代)

- 中世気候異常期

  - 中世温暖期 西暦950年-1250年

  - ヨーロッパでは温暖、グリーンランドに入植

- 小氷期 西暦1450年-1850年

  - 英国のテムズ川やオランダの河川が凍結

  - 日本でも飢饉が頻発

  - 太陽活動不活発、火山活動活発



イギリスのロンドン、氷の張ったテムズ川を描いた絵画（1677年作）。

Painting by Abraham Hondius via Heritage Images/Corbis

- インドネシア、ジャワ島東のスンバワ島タンボラ火山噴火

1815年4月5日、突然の噴火、噴煙は高度3万mに立ち昇る。

翌年、北米東岸平均気温が例年より4°C低い、6月に雪、8月、霜でトウモロコシ全滅。

カナダのハドソン湾は夏に凍りつき船の出航できなかった



## タンボラ火山

(ブルーボックス編集部)

## 2000年間のまとめ （鬼頭昭雄、2015）

- 19世紀に至るまで一貫して長期的な寒冷化が認められる。
- 20世紀になると南極を除き温暖化に転じる
- 19世紀以前の数十年から数百年の変動は、大規模な火山噴火時や太陽極小期にあたる。小氷期や中世気候異常期は地域間で一致しない。

## I .3 鉱物資源開発

### 銅生産の変遷

1900年から2014年の  
年変化(人口, 銅)

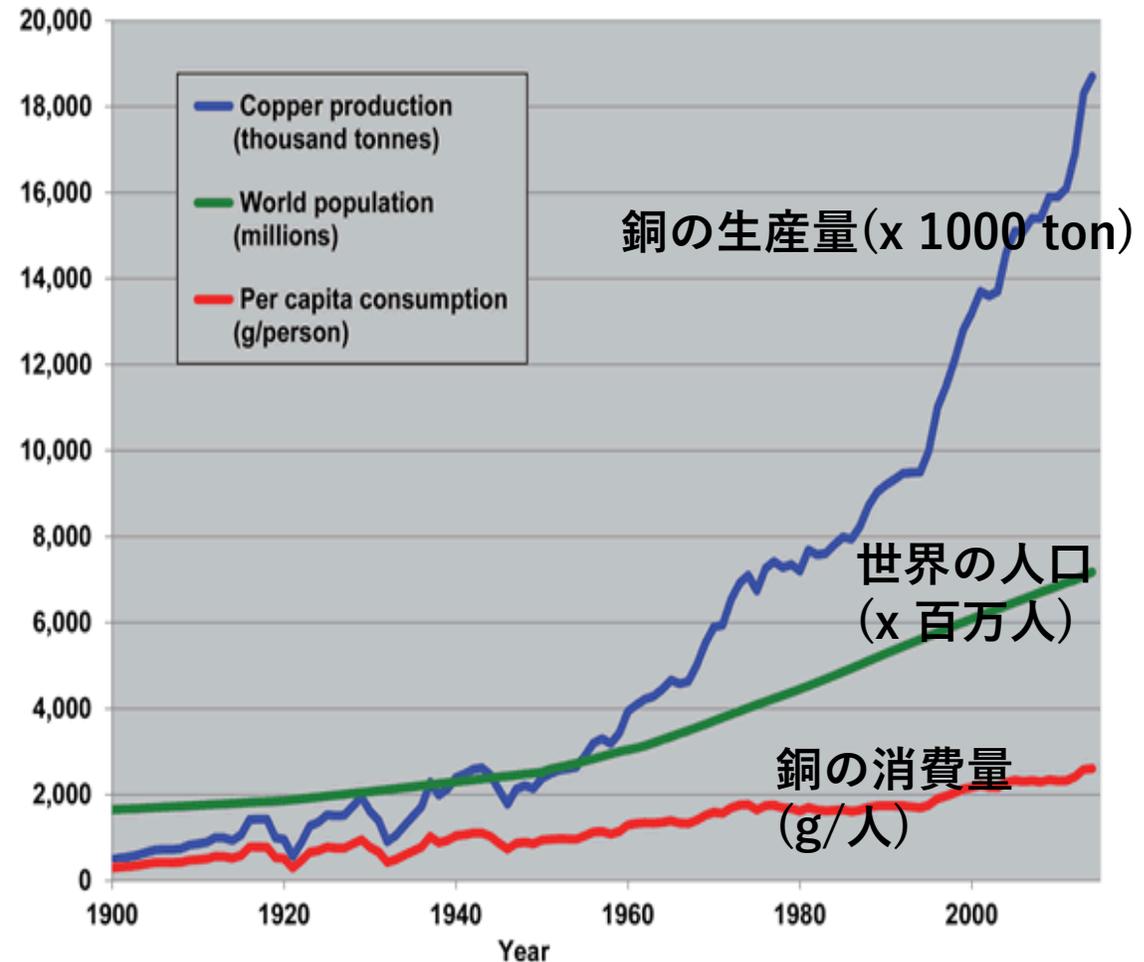
- ・世界の人口は4倍
- ・銅の生産量は38倍
- ・一人あたりの消費量は約9倍

最近の生産量 x 1000 ton

2019年 20,400

2020年 20,600

2021年 21,000



## 新産業であらたな資源(元素)が必要となる

- 大量の構造物に従来同様のベースメタルが必要  
Fe(鉄), Cu(銅), Pb(鉛)
- 大規模な風力発電適地には新しい道路が必要となる
- ハイテク用の鉱物でSb(アンチモン), Co(コバルト)
- 風力発電タービンの強力磁石 REE(希土類元素)  
強力磁石のおかげでモーターが小型化
- 電極薄膜 Ga(ガリウム), In(インジウム), Se(セレン)
- ハイブリッドまたは電気自動車バッテリー Li(リチウム)
- 燃料電池 白金族金属(PGMs)



# 地球史46億年を1年にたとえると

**問題** 地球の歴史を1年にたとえると、産業革命はいつのことか、1年の終わりの何秒か。

地球の歴史の始まりを46億年前、産業革命を300年前とする。

人類の出現/地球の歴史

$300\text{年}/46\text{億年} = 0.00000000652$ 、そこで46億年を1年にたとえると  
 $31,536,000\text{秒} \times 0.00000000652 = 2.06\text{秒}$

地球誕生から現在までを1年にたとえると、産業革命は12月31日午後11時59分58秒、つまり新しい年になる2秒前になる。

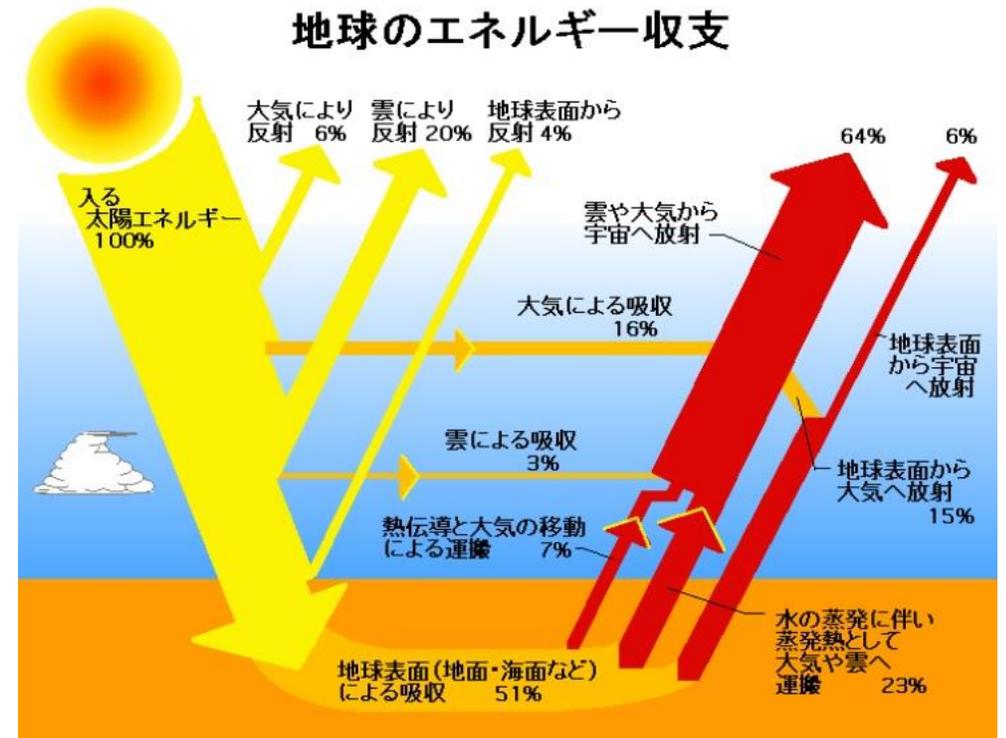
最後の最後になって一気にそれまで地球に作られた鉱物資源やエネルギー資源を人類は使っている。

## Ⅱ 気候はどのようにして決まるか

- ・太陽から地球に $1370\text{w}/\text{m}^2$ のエネルギーが来る。
  - ・その4分の1の $340\text{w}$ が届く。
  - ・ $100\text{w}$ が反射され、 $240\text{w}$ を吸収する。
  - ・同じ $240\text{w}$ を放射して差し引き0になる。
- このままだと $-18^\circ\text{C}$ になる。これは物理定数などで求まる。

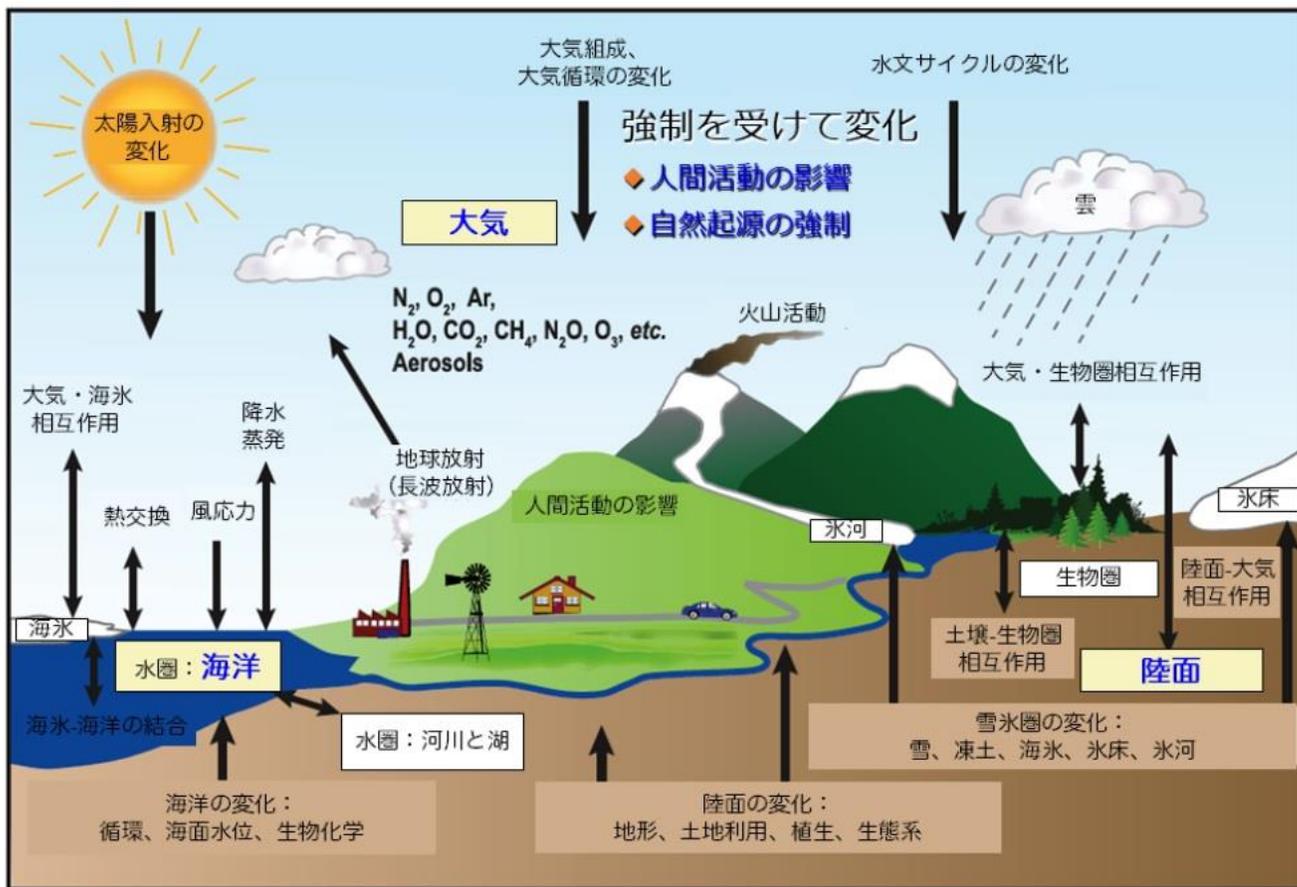
$$\begin{aligned} & \text{太陽エネルギー} \times \text{地球の断面積} \\ &= \text{地球の面積} \times \text{物理定数} \times \text{温度} \end{aligned}$$

- ・地上では温暖化ガスがあり、赤外線を吸収して $15^\circ\text{C}$ の適度な温度となる。



# 気候変動

気候システム内部と外部の要素の作用で決まる。

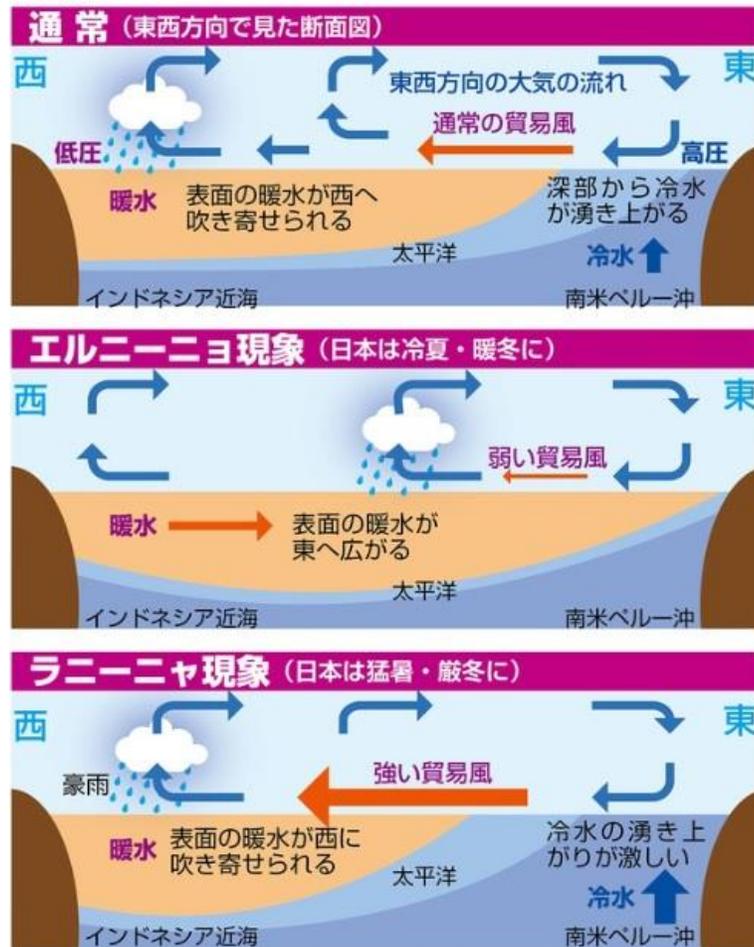


気候システム要素図(気象庁気象研究所)

- ・太陽のエネルギーは太陽の活動や地球の軌道によって、変化する。
- ・火山が噴火すると硫酸ガスなどのエアロゾルが放出され、太陽光を反射する。
- ・森林火災、工場や火力発電所によってもエアロゾルが大気に増加する。(エアロゾル 大気中に浮遊する微小な液体や固体の粒子)
- ・森林破壊で地球表面の日射の反射量に影響を及ぼす。
- ・工業化で大気中の二酸化炭素が増え温室効果を強める。
- ・温暖化で海水の蒸発が進み水蒸気が増え、温暖化ガスとなる。
- ・水蒸気が増えると、雲が増えて太陽のエネルギーを反射することもある。

# エルニーニョ現象

エルニーニョ現象とラニーニャ現象のメカニズム



エルニーニョ現象

エコノミスト(鎌田 役に立つ地学)より

気候システム内部の例として、エルニーニョ現象がある。

図の上

通常のは、太平洋中央部で東風(貿易風)が吹いている。この時、赤道付近の海の表面にある温かい海水は、貿易風に動かされて西へ吹き寄せられる。

図の中

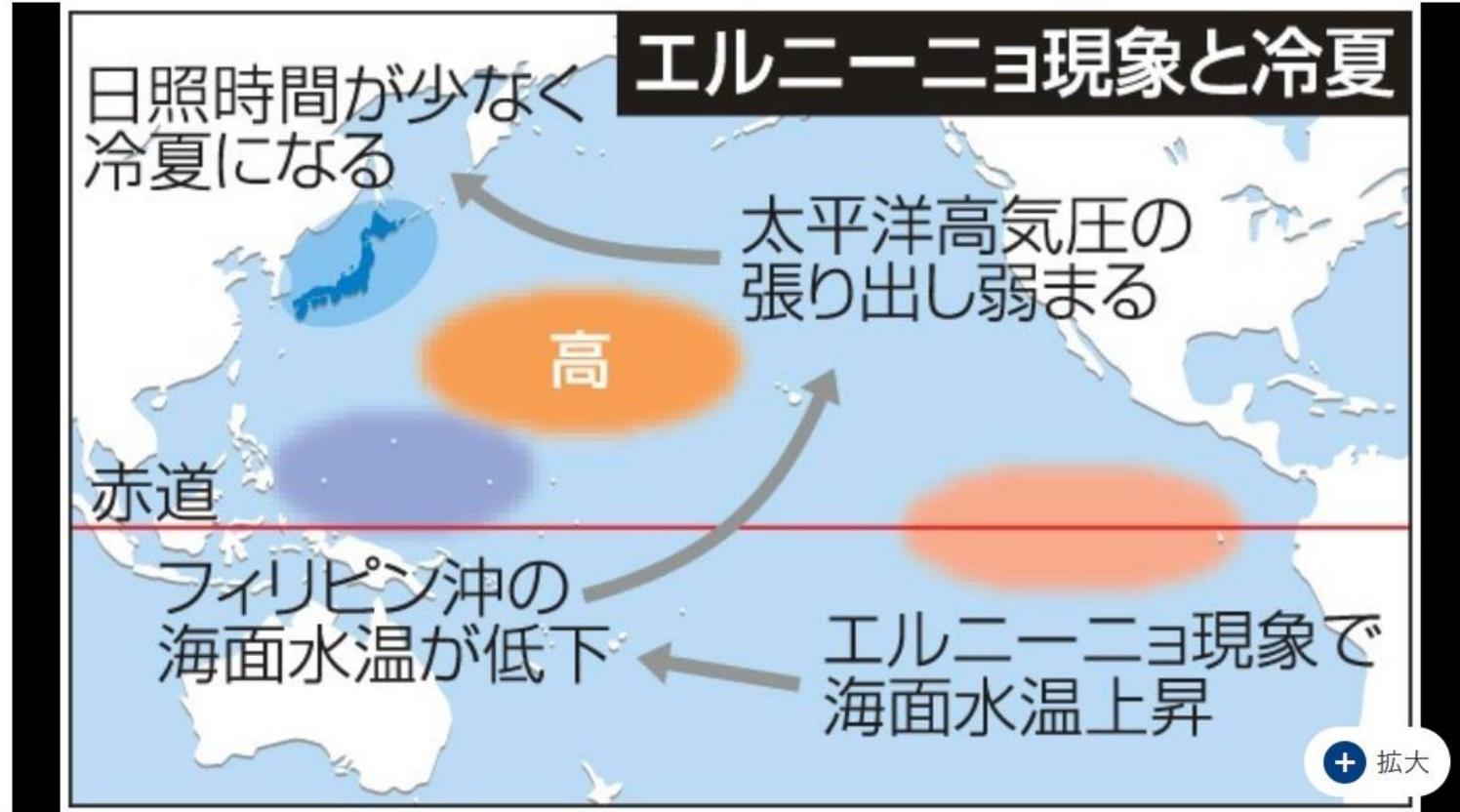
年によっては貿易風が著しく弱まることもあり、栄養分に富む深層水の湧き上がりが止まって魚が取れなくなる。

図の下

反対に、貿易風が平年よりも強く吹くことで起きる「ラニーニャ現象」がある。深層水が例年よりも大量に上がって海水温が通常のはよりも低くなる。

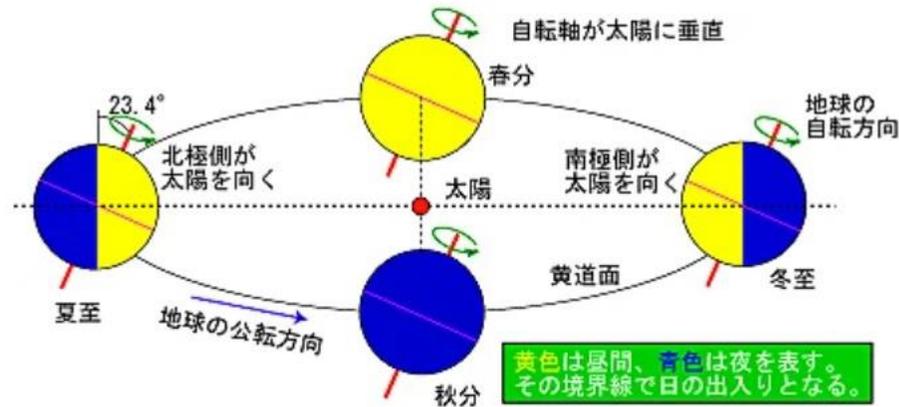
# エルニーニョと日本の冷夏

- ・エルニーニョ現象は最初、太平洋の赤道付近の熱帯域で発生するが、時間とともに中緯度や高緯度地域にも広がっていく。
- ・日本では梅雨が長引き、冷夏となり台風が減少する。
- ・冬は西高東低の気圧配置が弱まることで暖冬になりやすい。



## II.2 地球の自転軸の傾き

四季の移り変わりがあるのは、絶妙な地軸の傾きのおかげ

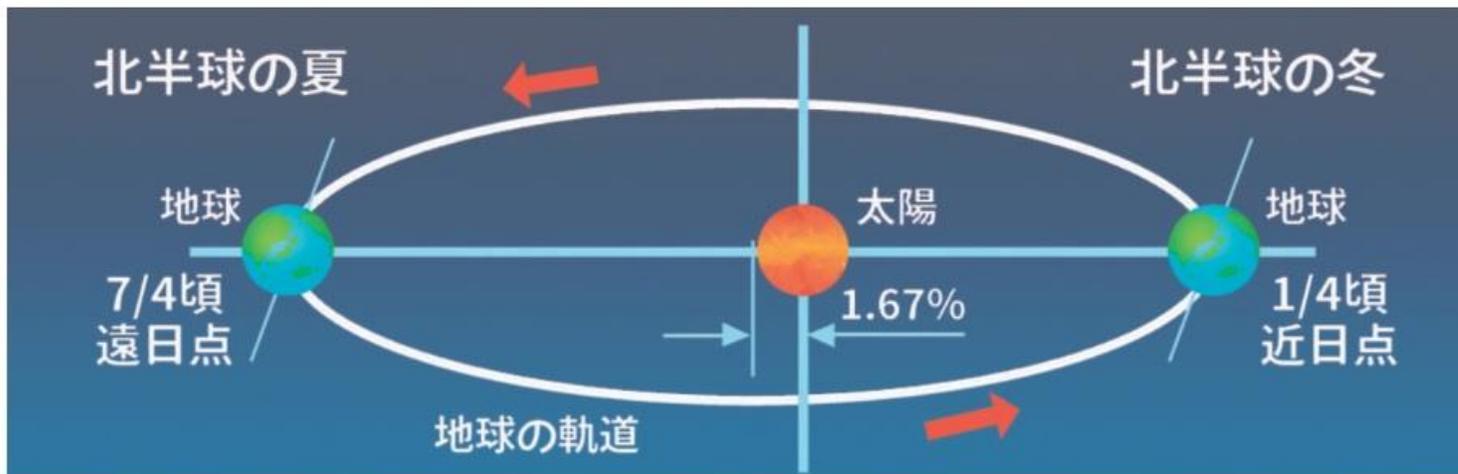


22.1-24.5度と変化する。4.1  
万年周期。  
現在は23.4度。  
傾きが大きいと、夏はより暑  
く、冬はより寒くなる。

図は気象協会 四季

# 近日点と遠日点

## 太陽との距離の年周変化



- 佐賀新聞 2022/07/01
- 地球の軌道の中心と太陽の軌道の中心とは1.67%偏っている。
- 距離の差は500万kmで太陽からの放射熱の差は6.8%になる。

# Ⅲ 気候変動とその対処

## Ⅲ.1 最近の気象

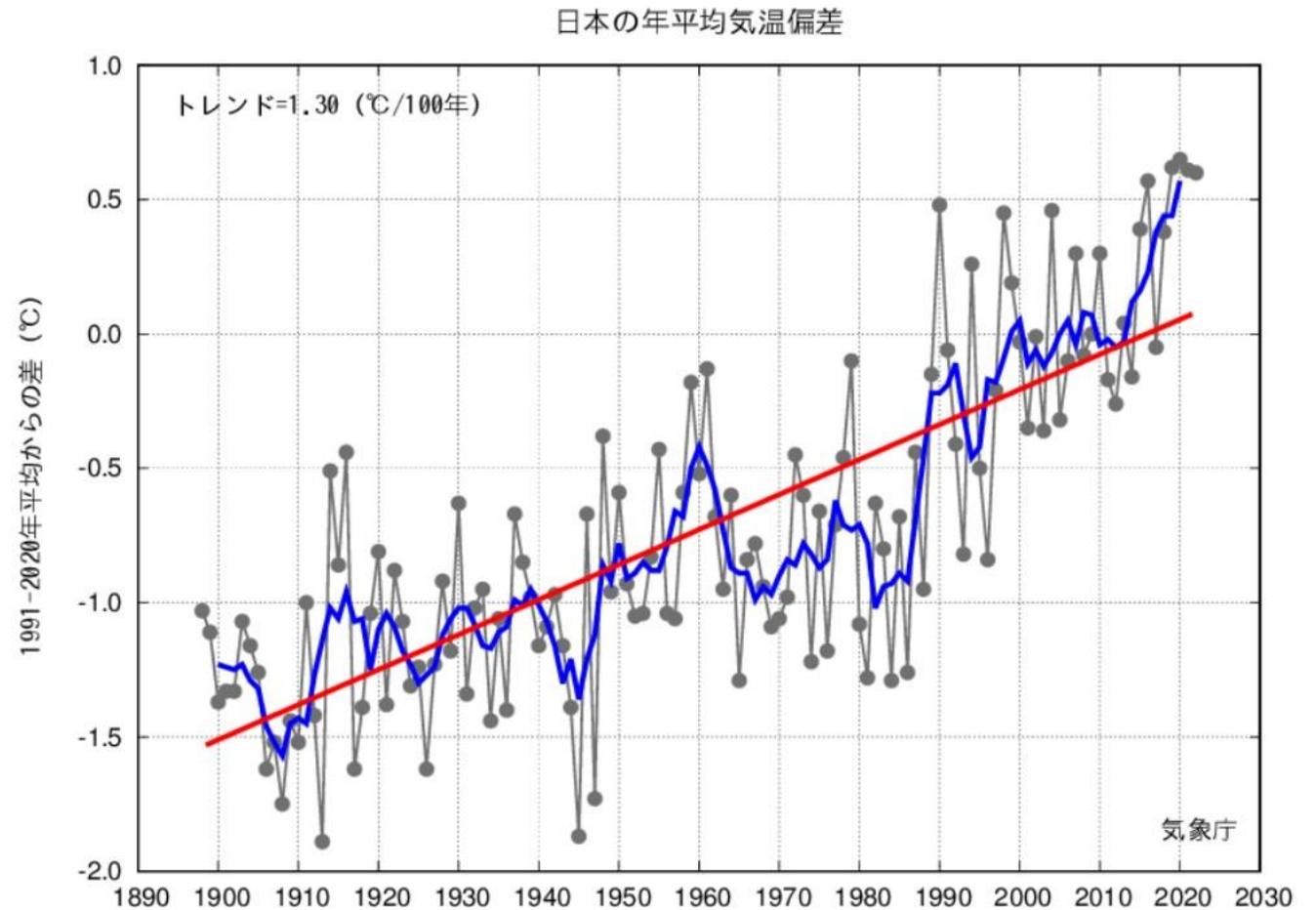
日本の気温や降水量の最近の特徴

日本の平均気温は100年で  
1.14°C上昇

右図 気象庁 日本の平均気温

都市化の影響の少ない15地点の観測結果を利用

(網走、根室、寿都、山形、石巻、伏木、飯田、銚子、境、浜田、彦根、多度津、宮崎、名瀬、石垣島)



# 日本の気候がどうなるか

- 気象研究所が二酸化炭素を温暖化要因として予想
  - 21世紀半ばまで排出量は増加、ピークを迎えてあと、緩やかに減少
  - 2100年ごろは700ppmに達すると想定
  - 全球気候モデルから世界の平均地上気温の上昇は2.8°C
  - 不確実性を考慮した上昇量は1.7-4.4°C
  - ここでは2.8°Cで日本の気候を予測する

## Ⅲ.2 気候変動の影響

- 水循環変化
  - 氷河縮小 下流の水資源に影響
  - 高緯度地域 永久凍土の温度上昇や融解
- 自然生態系
  - 過去に気候変動で種の絶滅あるが、現在は変動のスピード早く適応しきれない。
  - ニホンジカやイノシシの分布が広がる
- 農作物
  - 高緯度でも農業可能
  - 二酸化炭素が光合成の原料に
  - コメの品質低下
  - 家畜の死亡



## Ⅲ.3 対応策（二酸化炭素を主因としたIPCCの立場から）

- 緩和策 二酸化炭素排出抑制や削減
    - 省エネルギー、再生可能エネルギー、森林（吸収源対策）
    - 二酸化炭素の回収・貯蔵
  - 適応策 社会再構築で影響を軽減
    - 渇水対策、治水対策、感染症対策
    - 農作物の高温対策、生態系の保存
- ※今後数十年の温暖化の進行はどの緩和策をもっても不可避  
そこで適応策で対処、「待った」が利かない

## 二酸化炭素排出をどう抑えるか？

石炭などの化石燃料火力以外の発電で二酸化炭素排出を抑える

- ・太陽光発電 (長所)資源枯渇ない (短所) 太陽が出ないと発電できない
- ・地熱発電 (長)日本など火山国では資源豊富 (短)温泉が枯れる心配
- ・風力発電 (長)資源枯渇がない (短)風が吹かないと発電できない
- ・水力発電 (長)クリーンなベース電源 (短)ダム建設で環境改変
- ・原子力発電 (長)CO<sub>2</sub>排出少ないベース電源 (短)放射能の管理
- ・バイオマス発電 (長)再生可能資源である (短) 資源のとりあい懸念
- ・核融合発電:(長)資源枯渇や環境負荷軽減。(短)超高温超真空(高額)
- ・省エネルギー エネルギー効率の良い製品を使い発電所分を得る

地質技術者の貢献

地熱発電:地熱調査, 風力発電:モーターの磁石に使うREE探査  
水力発電:ダムサイト選定, 原子力発電:放射性廃棄物処分適地選定

# 二酸化炭素固定化や有効利用

(経済産業省同技術に関する施策評価資料から抜粋)

## 大規模排出源からの二酸化炭素排出削減技術

CO<sub>2</sub>分離回収技術

例：膜分離

CO<sub>2</sub>隔離

地中貯留

例：枯渇油・ガス田貯留

海洋隔離

例：深海底貯留隔離

変換・有効利用 炭素への分解

例：プラズマ分解

化学品へ変換

例：高分子合成法

## 大気中の二酸化炭素濃度低減技術

生物による吸収 大規模植林による地上隔離

例：乾燥地帯植林

海洋植物による吸収

例：大型海藻育成

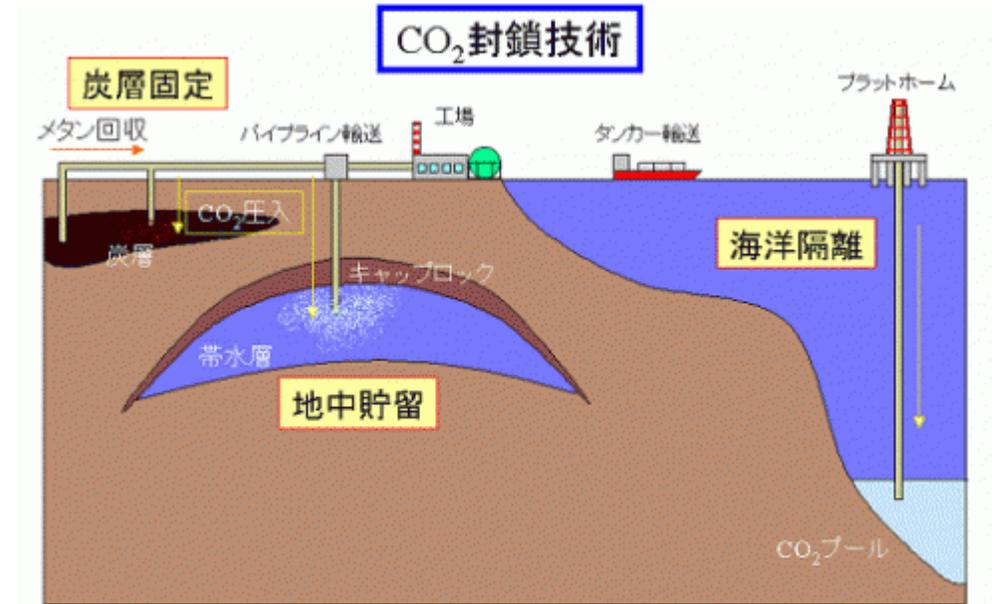
動物による吸収

例：珊瑚礁造成

## 二酸化炭素地中処分(CCS)

少々の二酸化炭素は，光合成などで生物に吸収・貯留される。現在はそのバランスがくずれ，大気中の二酸化炭素が増えている。

その対策として，化学・工学的に二酸化炭素を分離回収し，貯蔵・利用することが考えられている。二酸化炭素を地中に固定化してとりのぞく技術である。



## 参考事例 オゾンホールが発見と対策



昭和基地でのオゾン観測  
気球にゾンデを下げて上空のオゾン量を測定

南極や北極上空の成層圏のオゾン層における春期のオゾン濃度の減少。

最初の発見は昭和基地の観測データから(1983年報告)。

**1987年**, モントリオール議定書でオゾン層破壊物質の削減と廃止への道筋定まる。

5種類のフロン, 3種類のハロンが対象。

1988年, 日本でオゾン層保護法が制定, 1989年7月よりフロン等の生産が規制。

2003年, 最大のオゾンホール発生。

2019年, 1990年以降最小。

**21世紀末には解決の見通し。**