

8. 地球環境の変動

8-1 気候の決まり方

地球の表層環境は多様である。特に人間が生活する陸地については、表層環境の多様性を表す目安として、気候区分が提案されている。もっともよく用いられるものがケッペンの気候区分である。この気候分布はまず低緯度から高緯度へ、主に気温に着目して分類する。

記号	名称	定義
A	熱帯	最寒月平均気温 $\geq 18^{\circ}\text{C}$
B	乾燥帯	潜在的蒸発散量が降水量を上回り、最暖月平均気温 $\geq 10^{\circ}\text{C}$
C	温帯	最寒月平均気温 $\geq -3^{\circ}\text{C}$ かつ最暖月平均気温 $\geq 10^{\circ}\text{C}$
D	亜寒帯(冷帯)	最寒月平均気温 $\leq -3^{\circ}\text{C}$ かつ最暖月平均気温 $\geq 10^{\circ}\text{C}$
E	寒帯	最暖月平均気温 $\leq 10^{\circ}\text{C}$

地球では高緯度ほど気温が低いこと、またハドレー循環の下降域にあたる中緯度高圧帯（あるいは亜熱帯高圧帯）は乾燥域となることが反映されている。

さらに降水量やその季節変化に着目してさらに細分され、二文字目や三文字目の記号を付す。以下にその主なものを示す。

記号	名称	定義
Af	熱帯雨林性気候	最低月間降水量 $\geq 60\text{ mm}$
Am	熱帯モンスーン気候	最低月間降水量 $\leq 60\text{ mm}$ かつ $\geq 1/25$ 年間降水量
Aw	熱帯サバンナ気候	最低月間降水量 $\leq 60\text{ mm}$ かつ $\leq 1/25$ 年間降水量
BW	砂漠気候	年平均降水量 $< 0.5 \times$ 潜在的蒸発散量
BS	ステップ気候	年平均降水量 $\geq 0.5 \times$ 潜在的蒸発散量
Cs	地中海性気候	夏乾燥, $3 \times$ 最少雨月降水量 $<$ 冬季最多雨月降水量
Cw	温暖冬季少雨気候	冬乾燥, $10 \times$ 最少雨月降水量 $<$ 夏季最多雨月降水量
Cfa	温帯湿潤気候	Cs, Cw 乾燥条件を満たさず, 最暖月平均気温 $\geq 22^{\circ}\text{C}$
Cfb, Cfc	西岸海洋性気候	同上, $10^{\circ}\text{C} \leq$ 最暖月平均気温 $< 22^{\circ}\text{C}$
Dw	亜寒帯冬季少雨気候	冬乾燥, $10 \times$ 最少雨月降水量 $<$ 夏季最多雨月降水量
Df	亜寒帯湿潤気候	Dw 以外
ET	ツンドラ気候	最暖月平均気温 $\geq 0^{\circ}\text{C}$
EF	雪氷気候	最暖月平均気温 $< 0^{\circ}\text{C}$

赤道付近に分布する熱帯雨林気候の分布は、ハドレー循環の上昇流域に対応している。

日本の気候とモンスーン

日本は北海道の大部分が亜寒帯湿潤気候，本州以南（本州を含む）の大部分が温帯湿潤気候に属する。これらの気候区は四季の変化が明瞭であり，日射の緯度分布の季節変化と海陸配置の影響を強く受けている。

北半球の夏季には日本列島の南に太平洋高気圧が発達し，温かい空気が吹きこむ。これは1) 日射の緯度分布の移動に伴って，ハドレー循環の上昇域とともに北半球側の下降流域が北上することで，下降流域に形成されている小笠原高気圧（太平洋高気圧）が日本列島に接近する。そして2) 日射で加熱されたユーラシア大陸の上空に上昇流が生じ，そこへ向け小笠原高気圧から吹き出す温暖湿潤な空気が北上して流れ込むためである。

逆に冬季にはユーラシア大陸から寒気が日本列島に吹き付ける。これは1) ハドレー循環の下降流域が南下して日本列島から遠ざかり，また2) 日射が弱く放射冷却が進んだユーラシア大陸の上空に下降流が生じ，太平洋へ向けて冷たく乾燥した気流が流れ出すためである。このときシベリア上空を中心に形成される寒気を蓄えた高気圧を，シベリア高気圧と呼ぶ。大陸から吹き出す空気はもとは乾燥しているが，日本海を流れる暖流の対馬海流から水蒸気の供給を受けるため，日本海側に大量の降雪をもたらす。

季節によって風向を変える季節風は日本だけでなく，世界各地にみられ，卓越風向が夏季と冬季で入れ替わる現象をモンスーン¹と呼ぶ。モンスーンは基本的に海陸の表面温度コントラストが原因で起こる。これが特に顕著なのがインド亜大陸であり，これは高度4000m級で乾燥したチベット高原が夏季に直接日射で加熱を受けると，対流圏の中層に直接的に高温の空気を形成することによる。それによりインド亜大陸では夏に海上から湿った季節風が流れ込み雨季となる一方，冬には大陸内部から乾燥した季節風が吹き付けることで乾季となる。

8-2 数年単位の変動：エル・ニーニョ/南方振動

低緯度域の大気循環や海洋表層の状態は数年の時間スケールで変動を示すことが知られている。その代表格がエル・ニーニョ/南方振動 (El Niño-Southern Oscillation, 略して ENSO) とよばれる変動であり，日本の気候にも影響している。

まずエル・ニーニョ²とは，太平洋の南米ペルー沖の海水温が，広範囲にわたって平常値よりも数か月から1年程度の間上昇する現象をいう。一方で南方振動とは

¹アラビア海の季節風を表す現地語が語源

²スペイン語で神の子の意味。通常の季節変化として毎年クリスマスごろにペルー沖で一時的な水温上昇が起こり，同時に特産物であるカタクチイワシが不漁となる。漁民はこれを神様のくれた休暇ととらえて，エル・ニーニョと呼んだことが語源である。

太平洋の赤道の東西で、海面気圧がシーソーのように一方が上昇すると他方が下がる変動を指す。実はこれらは大気と海洋が連動した一体の過程であることから、両者をつなげて呼ぶ。

エル・ニーニョの発生は貿易風の強さが弱まることと関係している。貿易風によって赤道太平洋には西に向かう流れが生じている。そのため東岸（ペルー沖）では不足する表層海水を補うように湧昇が起これ、水温が低く保たれる。他方高水温の海水は西岸（オーストラリア北部・スマトラ・インドネシア）に集められ、ここで大気には活発な上昇流（低気圧域）が形成される。これは赤道太平洋上の貿易風を強める働きをする。他方、貿易風が何らかの理由で弱まると、西に向かう海流が弱まって、湧昇が弱まり、また西岸に集まっていた高温の海水が東に広がることでペルー沖の水温が平常時より上昇する。このとき赤道上の上昇流域も東に張り出して、西岸では海面気圧が高まり、東岸では気圧が下がる。これは太平洋上の貿易風をさらに弱める働きを持つ。ちなみに湧昇には魚類の餌となるプランクトンを育む栄養素が豊富なため普段は好漁場となっているが、湧昇が弱まればその供給が弱まり不漁になる。

エル・ニーニョが発生すると、日本列島は冷夏暖冬になる傾向がある。これは西部赤道太平洋の水温が下がることで、夏は小笠原高気圧の張り出しが弱まることと、冬は海陸の温度差が小さくなって季節風が弱まることとが原因である。

いったんエル・ニーニョが発生した後に、これが収束する仕組みは未知な点が多いが、海洋内に大規模な波動や表層水の輸送が存在し、ペルー沖の高水温の表層海水がやがて取り除かれるようになることが重要と考えられている。またエル・ニーニョとは反対に西部赤道太平洋の水温が平常値から著しく上昇する現象をラ・ニーニャ現象とよぶ。

8-3 より長い時間スケールの変動

火山噴火

大規模な噴火が生じると、成層圏にまで噴煙を巻き上げ、火山灰や硫化ガス由来の硫酸エアロゾルが日射を遮ることで全世界的な寒冷化をもたらすことがある。

歴史的に有名な例としては、浅間山・ラキ火山・グリムズヴォトン火山の大規模噴火が原因とみられる天明の大飢饉（1782年～1788年）がある。この期間はヨーロッパも凶作に見舞われ、フランス革命の遠因にもなったとみられている。

軌道要素の変化と氷期・間氷期サイクル

地球の地軸の傾きや軌道要素（離心率、近日点経度）などは、他の惑星の重力の働きを受けて一万年以上に時間スケールで微妙に変化をしている。日射の分布が変

わるにつれて、高いアルベドを持つ大陸氷床の被覆面積が変化し、地球全体の気温や海水準の変動をもたらす。現在も含めて過去数百万年は基本的に常時大陸氷床が存在し、氷河期に分類される。4万年や10万年の周期で氷床の成長と縮小を繰り返しており、これを氷期・間氷期サイクルと呼ぶ。