

「縞縞学」

地球環境変動とミランコビッチ・サイクル

(3)

我々は、ほぼ十万年ごとに氷期を繰り返す「氷河時代」に生きている。

氷河時代が始まったのは百万年ほど前からで、四十六億年の地球の歴史からみれば、つい「最近」のことにすぎない。

氷河時代は何十億年も前の地質時代にも存在した証拠があるが、なぜ「最近」氷河時代が始まり、規則的に氷期を繰り返すようになったのか。この先も氷河時代は続いていくのか。それらは大きな謎である。

安成哲三教授は、地球の公転軌道の周期的変動であるミランコビッチ・サイクルによる日射量の変化がアジアモンスーンに与える影響の考察を通じて、その謎に迫っている。

十万年周期のミランコビッチ・サイクル

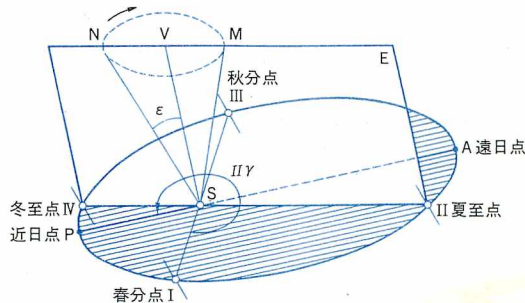
十万年ごとに氷期を繰り返す大きな気候変動の因子として「ミランコビッチ・サイクル」が注目されたのは、一九一〇年代か

ら三〇年代にかけてである。

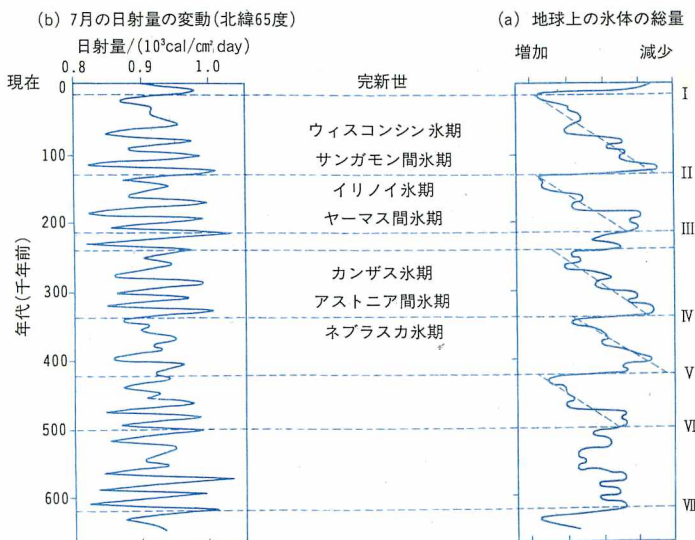
セルビアの地球物理学者ミランコビッチは、地球の公転軌道の要素（離心率、地軸の傾き、近日点など）が、他の惑星との間に働く引力の影響によって、二万年から十万年のスケールで長周期的に変化し、地球の日射量に変化を与えることをつきとめた。この学説は氷期、間氷期が十万年のサイクルで繰り返されることを説明するものとして、当時の地質・地理学者に多くの支持者を得た。

しかし、ミランコビッチ・サイクルと氷期のサイクルでは時間的なずれがあるうえ、せいぜい数パーセントにすぎないミランコビッチ・サイクルによる日射量の変化がなぜ氷期サイクルのような劇的な変化をもたらすのか、ミランコビッチ・サイクルは十万年ごとの変動より二万年ごと、四万年ごとの変動の方が大きいのになぜ氷期サイクルは十万年単位で繰り返されるのか、何より地球誕生以来存在したはずのミランコビ

地球軌道の要素



過去60万年における地球上の氷体の総量の変動



(a)における氷体の増加のピークが氷期であり、減少のピークが間氷期である。
(b)はミランコビッチ・サイクルによる変動。

安成哲三氏

筑波大学地球科学系教授

ツチ・サイクルが、なぜ百万年前から急に氷期サイクル形成に作用することになったのか、といった基本的な問いに長く回答することができなかった。

七〇年代に入って、大洋の深海底から三十億年以上前にできた堆積岩が採取された。その岩石には二酸化硅素と酸化鉄の周期的な縞が明瞭に記録されており、ミランコビッチ・サイクルに対応する大きな気候変動が、太古にも存在したことをうかがわせた。

(『さ・さいくる』54号稿編字(1)参照)

また、南極やグリーンランドには厚さ千五百メートル以上の氷床があるが、それらのボーリング調査によって、過去二十万年の範囲の氷期サイクルの様子が分かっていた。たとえば、間氷期から氷期への移行は直線的なものではなく、温暖化と寒冷化を二万～四万年単位で繰り返しながら八～九万年もかけて氷期に向かうことが明らかになってきた。ちなみに氷期に達した後は急激に温暖化が進んで、早ければ数千年で間氷期に至ってしまう。

いずれにせよ、氷期サイクルにおいて二万～十万年単位の変動が存在することは、あらためてミランコビッチ・サイクルと気候変動の関係をクロースアップさせることになった。

北京の蝶がニューヨークに竜巻を

最近の気象学では、カオス(非線形)理論による考察が進んでいる。米国の気象学者ローレンツが発見したもので、対流や気温、湿度などの初期条件のわずかな変化が非線形的な相乗効果によって大きな気候変動をもたらすということがカオス理論で説明されるようになってきた。俗に『北京で蝶が羽ばたくと、ニューヨークに竜巻が起きる』といわれるように、気象はわずかな温度や風向の変動によって大きな変化が起

きる典型的なカオスの世界なのである。

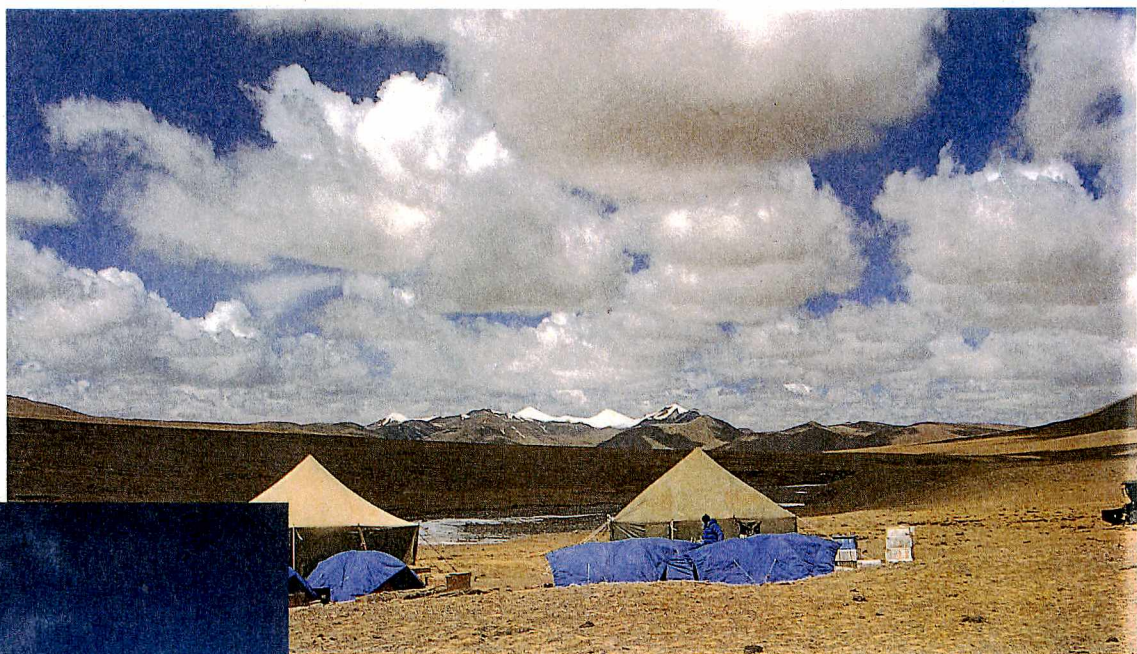
八〇年代から、ミランコビッチ・サイクルは氷期をもたらす『蝶』ではないか、という視点に立つ研究がさまざまな角度から始まった。ミランコビッチ・サイクルによるわずかな日射量の地域的な『ムラ』が、巡りめぐって氷期をもたらすメカニズムを解明しようとする試みである。

安成教授は、その答えをアジアモンスーンの活動に求めようとしている。モンスーンとは低緯度地域において陸と海とで暖まり方が異なることから生じる海から陸に向かって吹く季節風である。モンスーンは、熱帯アフリカや中南米地域にもみられるが、ユーラシア大陸東南部から熱帯太平洋地域で最も顕著にみられ、この地域のモンスーンを特にアジアモンスーンと呼んでいる。

アジアモンスーンを支えるチベット高原

地球の巨大な大気循環であるモンスーンは、水と熱の循環をともしなう。夏になると陸は強い日射を受けて早くあたためられ上昇気流が起きる。そこへ海から陸に向けた強いモンスーンが吹きこむ。その時、モンスーンは海洋上で水蒸気となった水分を陸に運び、陸で水蒸気は大量の雨となって地表に降り注ぐ。水が蒸発する海洋上では大気から熱を奪い、水が凝固する陸上で熱を放出する。これにより、陸上と海上の大気の温度差が維持され、モンスーンの循環が継続されることになる。つまり、モンスーンは水と熱を海から陸へ再分配するポンプとして機能しつづけることになる。

アジアモンスーンにおいて、そのシステムをさらに強化しているのは、低緯度に位置するヒマラヤ・チベットの大山塊の存在である。海拔五千メートル級の広大なチベット高原は、強い太陽エネルギーによる地表面加熱を通して、その上の大気を強く加熱する。



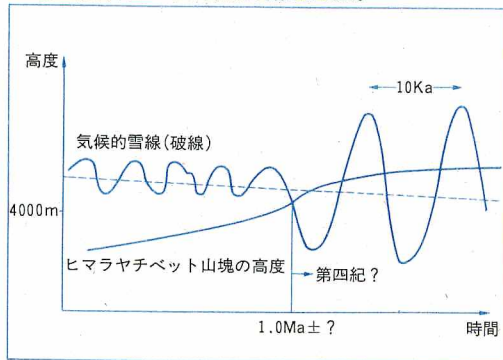
夏のモンスーン期のチベット高原。



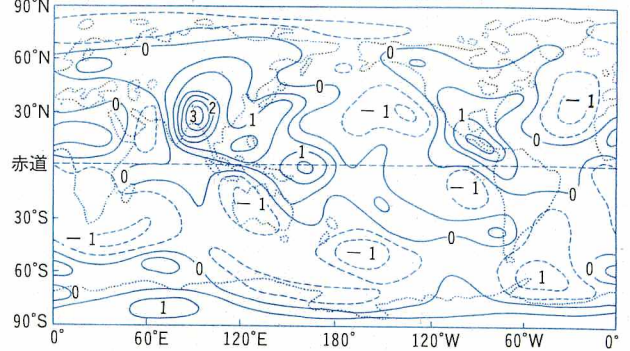
5月、6月でも降雪がみられる。

実際、夏（北半球）のモンスーン期のチベット高原の上部の気温は、同緯度の太平洋上の気温に比べて十度（℃）も高いという観測結果が記録されている。この温度差がアジアモンスーンのポンプの働きをいっそう強めて太平洋及びインド洋からの水と熱を呼び込んでいるわけだ。

ミランコビッチ・サイクルとヒマラヤ上昇による雪線変動。
第四紀以降、チベット高原は雪線を超えた。



1979年7月の大気の大断熱加熱(冷却)率の分布。
チベット高原の値が世界で最も高い。



一方、冬期（北半球）になると、アジアモンスーンは夏を迎えたインドネシアやオーストラリアの北部に向かって吹く。この時、チベット高原は、北半球の寒気団をシベリアにためこみ、その南下を防ぐ盾の役割を果たす。

こうしたアジアモンスーンの活発な活動は、グローバルな気候変動に対してもきわめて大きな役割を担っている。

異常気象が起きると常に話題になる「エル・ニーニョ」現象も、実はアジアモンスーンが関与していることを安成教授は初めて明らかにした。

エル・ニーニョとは、南米・ペルー沖の海水が異常な温度上昇をきたす現象である。同海域の海水は赤道直下にもかかわらず、南水洋からやってくるペルー寒流と深海から上昇してくる沿岸湧昇流のために普段は冷たく、カタクチイワシなどの好漁場となっている。ところが、数年に一度、突然暖水に置きかわってしまう現象がみられる。それが決まってクリスマス頃に起きることから「エル・ニーニョ＝現地語で神の子、幼子イエス・キリストの意味」と呼ばれるようになったのである。

エル・ニーニョが発生すると、ペルー沖の漁獲量が激減するだけでなく、世界各地で豪雪や旱魃、洪水などの異常気象が起ることから、近年注目されるようになってきた。「エル・ニーニョが発生したから来年は異常気象が起こるぞ」と。

しかし、安成教授は、この言い方は正しくないという。「エル・ニーニョ」は、むしろ結果であつて原因ではないからだ。安成教授はさまざまな気象データの分析から、夏のアジアモンスーンが弱い年に限って年末にエル・ニーニョが発生することをつき

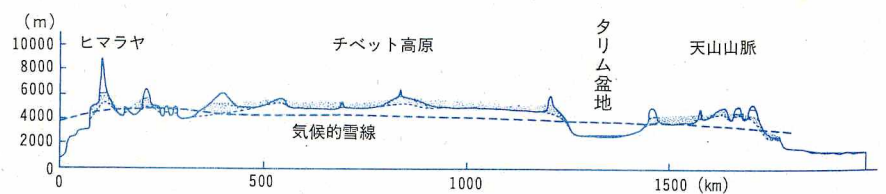


観測所周辺の夏のチベット高原。同じ場所でも積雪で風景が一変する。(左右の写真)



チベットの子供たち。

チベット高原の氷床の南北断面図(アミ点模様が永床域)



ったのである。

夏のアジアモンスーンの影響は、熱帯地域だけでなく、全地球規模に及ぶ。夏のアジアモンスーンが弱いと太平洋高気圧が未発達になり、ジェット気流が南下蛇行する結果、北の寒気団が南下してきて地球規模での異常気象が起りやすくなる。

つまり、アジアモンスーンは世界の気象変動を支配しているといえよう。

チベット高原の上昇が 氷河時代を呼んだ?

ところで、チベット高原が現在の標高になつたのは、そう古いことではない。

インド大陸は約千五百万年前にプレートテクトニクス運動によってユーラシア大陸に衝突した。それ以後もプレートの運動は継続してヒマラヤの造山運動が始まり、チベット高原が徐々に形成されていった。それでも第四紀が始まる、三百万年前頃までは、チベット高原の標高は四千メートル以下で、冬に積雪することはあっても、夏まで雪氷が残ることはほとんどなかった。

しかし、百万年前あたりから急激に標高が上昇して五千メートルを超える部分が拡大し始めた。この四千メートルと五千メートルの差が決定的なのは、気候的雪線といつて夏でも雪氷が残る高度にチベット高原の一部が達したことを意味する。仮に夏になつてもチベット高原が雪に覆われたままだと、太陽の日射を雪氷が反射してしまうのでアジアモンスーンの前提となる陸の上昇気流が弱まり、全地球規模の気候変動を誘発する結果となる。

つまり、気候的雪線に達したチベット高原では、ミランコビッチ・サイクルによるわずかな日射量の変化によって、夏に雪氷が広がったり、消えたりする現象が敏感に起こりうることにになり、その結果として全地球の気候が左右されることになる。一方、

クルによる日射量の変化はほとんど影響を受けない。いいかえれば、ミランコビッチ・サイクルによる日射量の変化の影響を最も受けやすいのがチベット高原であり、アジアモンスーンなのである。

ここに氷期に移行する引き金はチベット高原の夏の雪氷がにぎっているという仮説が導きだせ、なぜ、氷河期は百万年前から始まったのかという解答を提出できることにもなるのである。

もちろん、安成教授は、アジアモンスーンだけが、氷期サイクルをもたらす媒体としていてわけではない。たとえば、深層海流の作用なども大きな媒体だと考えている。深層海流とは平均深度三千メートル付近で大陸沿いにゆつくりと流れる地球規模の海流である。その周期は約三千年と考えられている。この流れの駆動力は、蒸発が盛んで塩分濃度が濃くなる熱帯地域の海と他の地域の海との塩分濃度の差と考えられる。しかし、北米地域やヨーロッパで氷床が大きくなると、大西洋地域の寒冷化などのため蒸発が減り深層海流が衰える。このため熱帯地方から極北地域への深層海流による熱供給が断たれて、北米やヨーロッパの氷床拡大が加速されるという考えである。

この深層海流の変化は、地球温暖化の要因とされる大気中の炭酸ガス濃度の変化も引き起こすことにより、いつそう氷期サイクルのメカニズムに深く関わっていると考えられる。事実、南極でボーリングした氷を観察すると、氷期の氷に含まれる気泡の中には炭酸ガスの濃度が低くなっている。

このように、ミランコビッチ・サイクルによる日射量の変化は、アジアモンスーンをはじめとするそうした複合的な要因により、巡りめぐって氷期サイクルをもたらすといえよう。

ちなみに、氷期から間氷期に至るのに数

の沈み込みによるものである。氷期にできる北米とヨーロッパの巨大氷床は時に厚さ千メートルを超すが、ある一定の量に達すると氷床の重さで地殻が何百メートル沈んで、氷床の標高が気候的雪線を下回ってしまったために、氷床は急激に溶けはじめる。溶け始めると氷床が海にずり落ちたりしていつそう溶解が加速され、数千年の短い時間で溶け切ってしまうのである。そして氷床が溶けると地殻は二万年くらいかけてゆつくり復元し、再び氷期に向かうことになる。

なお、最も最近の氷期（ワイスコンシン氷期）は約一百万年前に終り、約六千年前に間氷期のピークを迎えた。日本の歴史時代では縄文時代のことである。したがって、次の氷期が訪れるまでには九万年はたつぷりである。

しかし、人間活動による温室効果の強化は、新たな「蝶」になって、このサイクルを変えるかもしれない。

（この記事は安成教授へのインタビューと教授の著作・論文をもとにまとめた）



安成哲三（やすなり・てつぞう）

- 一九四七年 山口県に生まれる。
- 一九七一年 京都大学理学部卒業
- 一九七七年 京都大学理学部博士課程修了
- 一九七七年 京都大学東南アジア研究センター助手
- 一九八二年 筑波大学地球科学系講師
- 一九九〇年 筑波大学地球科学系助教授
- 一九九二年 筑波大学地球科学系教授

専攻——気象学・気候システム論

主な著書——「ヒマラヤの気候と氷河」（朝倉書店）
「地球環境変動とミランコビッチ・サイクル」（古今書店）



観測風景（1989年）。



観測チームに協力してくれたチベットの人々。