

論文内容の要旨

Reconstruction of atmospheric circulation system during the Cretaceous “greenhouse” period – insights from desert record in the Asian interior

(アジア内陸の砂漠堆積物から見る白亜紀“温室期”における大気循環システムの変動)

長谷川 精

顕生代史上最も温暖化が進んだ時代の一つである白亜紀は、大気CO₂濃度が現在の4–10倍に達し、極域にも氷床がなく、緯度方向（赤道～極）の温度傾度が著しく小さかった事で特徴付けられる、典型的“温室期”として知られる。この低い緯度方向の温度傾度は、この時代に赤道から極域への熱輸送システムが強化されていた可能性を示唆しており、熱輸送を担う大気や海洋の循環システムが現在とは著しく異なっていた可能性が高い。しかし、白亜紀“温室期”において実際に大気循環システムがどのようなようであったかを示す直接的証拠は、これまで示されていなかった。

そこで本研究では、過去の大気循環システム変動を最も直接的に記録する砂漠堆積物に注目した。現在の砂漠地帯は、大気循環の下降域（ハドレー循環の下降域）である亜熱帯高圧帯下（北緯・南緯20–30°）に発達する。その為、北半球では、砂漠の北部では偏西風が、南部では北東貿易風が卓越する。一方、砂漠内の風成砂丘は、風下側に砂丘が移動することで堆積が進む為、地層中に残される大型斜交層理は堆積時の卓越地表風系を記録する。従って、砂漠堆積物の分布および卓越地表風系を解析することで、過去の亜熱帯高圧帯の緯度分布の変遷（特にハドレー循環の幅の変遷）を復元することが可能となる。

本研究では、アジア内陸の低～中緯度に分布する陸成堆積物盆地（モンゴル南部ゴビ盆地、中国南西部四川盆地、タイ北部コラート盆地など）において詳細な野外調査および古地磁気層序確立による編年を行い、白亜紀を通じたアジア内陸の砂漠分布や卓越

地表風系の時空変遷を復元した。そして亜熱帯高圧帯の緯度分布の変遷を復元することにより、白亜紀を通じた大気循環システムの変動を復元した。

モンゴル南部ゴビ盆地に露出する上部白亜系陸成層（下位より、Bayanshiree層、Djadokhta層、Barungoyot層、Nemegt層、Dzunmod層）を広域的に調査して、古地磁気層序確立による年代対比と、堆積相解析による古環境変遷の復元を行った。その結果、モンゴル地域は後期白亜紀において蛇行河川及び氾濫原の卓越する環境（Bayanshiree層; Cenomanian–Santonian）から砂漠環境（Djadokhta, Barungoyot層; Campanian）へと変化し、一時的に蛇行河川及び氾濫原の卓越する環境（Nemegt層; early Maastrichtian）へ変わった後に再び砂漠環境（Dzunmod層; middle Maastrichtian）へ変化した事が明らかになった。また古風向パターンの解析により、同地域（N40–45°）は白亜紀後期において偏西風帯に属していた事が明らかになった。

タイ東北部コラート盆地に露出する、これまで時代未詳の砂漠堆積物（Phu Thok層）を詳細に調査し、古地磁気層序確立による年代決定と同地域の古風向パターンの復元を行った。その結果、Phu Thok層は白亜紀中期（Aptian–Turonian）に対比され、古風向パターンの解析から同地域は主に北東貿易風帯に属しており、一時的にタイ東北部（N20°–25°）まで亜熱帯高圧帯の軸部が南下した事が明らかになった。

モンゴルやタイにおける野外調査および古地磁気層序の結果に加え、共同研究者のJiang博士により既に公表されていた中国のデータも含め、アジア内陸盆地全体の砂漠堆積物記録を総合的に解析した。その結果、白亜紀を通じてアジア内陸の砂漠堆積物の分布が緯度方向に大きくシフトしていた事が明らかになった。すなわち、前期白亜紀には砂漠堆積物は中緯度域（中国北部のオルドス盆地やタリム盆地など: N30–40°）に分布していたが、中期白亜紀には低緯度域（タイ北部のコラート盆地や中国南部の四川盆地: N20–30°）に分布域がシフトし、後期白亜紀には再び中緯度域（モンゴル南部のゴビ盆地や中国北部のオルドス盆地など: N30–45°）へとシフトしていた。更に、古風向パターンから復元される偏西風帯と北東貿易風帯の境界位置（亜熱帯高圧帯の軸部）の分布変

動も、砂漠分布から復元される亜熱帯高圧帯の分布変動と調和的な結果を示した。

これらの結果から、白亜紀を通じて亜熱帯高圧帯の分布が緯度方向に大きくシフトしていた事が明らかになった。すなわち、白亜紀前期および後期には、亜熱帯高圧帯が現在よりも高緯度側（N30-40°）にシフトしており、一方、白亜紀中期には亜熱帯高圧帯が現在よりも低緯度側（N20-30°）にシフトしていた。北半球の場合、亜熱帯高圧帯はハドレー循環の北縁に発達するため、アジア内陸における亜熱帯高圧帯の緯度方向のシフトは、ハドレー循環の幅の変遷と見ることができる。白亜紀における古気候指標堆積物（石炭やボーキサイト、蒸発岩など）のグローバルな分布変遷を見ても、白亜紀中期における亜熱帯高圧帯の低緯度側へのシフトおよび白亜紀後期における同帯の高緯度側へのシフトは北米大陸や南半球でも認められ、全球的な現象である事が示唆された。

このアジア内陸における亜熱帯高圧帯の緯度方向のシフトのタイミングは、白亜紀を通じた全球的な気候変動と同調しており、現在よりやや温暖であった白亜紀前期および後期には、ハドレー循環は現在よりも高緯度側に拡大していた。一方、更に温暖であった白亜紀中期“最温室期”には、ハドレー循環は逆に赤道側に縮小していた。最近の研究によると、大気CO₂濃度の上昇に伴う全球的な温暖化の進行につれ、ハドレー循環は極側へ拡大しつつある事が示されており、白亜紀前期及び後期にハドレー循環が高緯度側に拡大したとする観測事実は、大気CO₂濃度の上昇に伴う温暖化の進行につれ同循環が徐々に極側に拡大するという考えと調和的である。一方、白亜紀中期“最温室期”にハドレー循環が低緯度側に縮小するという観測事実は、大気CO₂濃度がある閾値を超えてしまうと、ハドレー循環は逆に縮小してしまう可能性を示す。

白亜紀中期“最温室期”にはストーム強度が増大していたという証拠や、北米の中緯度域が湿潤化していた（潜熱輸送の増大）という証拠を併せて考慮すると、白亜紀中期“最温室期”における赤道～極の熱輸送は、特に中緯度域においてハドレー循環を介した熱輸送システム（顕熱輸送）に代わって、温帯低気圧の活発化に伴う水循環の強化（潜熱輸送）が担っていた可能性が示唆される。