



Title	Hydrodynamic escape of reduced proto-atmospheres on Mars and Earth [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	吉田, 辰哉
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(理学)
Dissertation Number	甲第14361号
Issue Date	2021-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/81940
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Tatsuya_Yoshida_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称 博士（理 学） 氏 名 吉田 辰哉

学 位 論 文 題 名

Hydrodynamic escape of reduced proto-atmospheres on Mars and Earth
(火星・地球における還元型原始大気の流れ力学的散逸)

火星と地球は集積期に H_2 や CH_4 を主体とした還元型原始大気を獲得した可能性が高い。還元型原始大気は流れ力学的散逸によって大規模に失われた可能性があるが、その散逸率や水素散逸時間は不明だった。これらを推定する上で流出大気中の赤外活性分子による放射冷却によるエネルギー損失が重要となるが、従来の流れ力学的散逸の数値モデリングでは放射冷却によるエネルギー損失は自由パラメータとして扱われており、推定された散逸率には不定性が残されていた。また、赤外活性分子含む各大気成分は流出中に光化学反応の影響を受けるが、流出大気の光化学についても分子が全て解離していることを仮定する等、簡略化されることが多かった。火星・地球における還元型原始大気の進化を正確に推定するためには、放射エネルギー収支や光化学過程を考慮したモデルが必要となる。そこで、本研究では放射過程と光化学過程を詳細に組み込んだ多成分系における一次元流れ力学的散逸モデルを新たに構築し、火星・地球の還元型原始大気に適用した。

火星における流出大気中の分子は先行研究の想定と反して大部分が光分解を免れ生き残る。原始火星大気の散逸率は CH_4 や CO の混合比が増加するにつれてそれらの放射冷却によるエネルギー損失により大気散逸率が減少し、 CH_4 ・ CO 混合比が $\sim 10\%$ に達した時点で純粋な水素大気と比べて散逸率が一桁程度減少する。また、 CH_4 ・ CO 混合比が増加するにつれて H_2 と炭素種分子間の分別が顕著になる。 H_2 散逸終了時点で 1 bar の CO_2 と等価な炭素種分子が残留すると仮定し大気進化経路を推定したところ、初期 H_2 量が $\sim 10\text{ bar}$ 以上の場合は炭素種分子の散逸量も $\sim 10\text{ bar}$ を超える。 H_2 - CH_4 - CO 大気からの水素散逸時間は純粋な水素大気の散逸時間と比べて一桁以上長期化し、初期 H_2 量が 100 bar 以上の場合は水素散逸時間が 1 億年を超える。この結果は初期火星において有機物生成が効率的に進む還元的環境が長期間持続することを意味し、近年の初期火星由来の有機物検出と整合的である。また、火星大気散逸の計算結果から、火星サイズの原始惑星は巨大衝突段階で大気を保持した可能性があり、巨大衝突を経験した地球型惑星への大気供給源として原始惑星が寄与した可能性があることが示唆された。

火星と比べて重力が大きい地球では、流出大気の鉛直移流タイムスケールが光分解タイムスケールを上回り、特に CH_4 は光分解やイオンとの化学反応によって急速に分解される。一方で、分子の分解に伴い H_3^+ , CH , CH_3 等の赤外活性な光化学生成物が生成され、それらの放射冷却が大気散逸を著しく抑制する。 CH_4 混合比が $\sim 0.5\%$ の段階で加熱効率は $\sim 5\%$ まで下がり、 CH_4 混合比が $\sim 1\%$ 以上の場合は H_2 のみが散逸する状態になる。現在の地球表層揮発性物質質量と同位体組成の制約条件を満たす水素散逸時間は ~ 4 億年にも達し、富水素環境が初期地球で長期に渡り保たれ、低太陽光度下における温暖化や生命誕生に繋がる有機物生成において重要な役割を果たした可能性があることが示唆された。

火星と地球の流れ力学的散逸率の違いはそれらの惑星質量と重力の違いに起因する。火星では流出大気の流速が大きいために断熱膨張冷却が効きやすく、大気温度と赤外放射率が低く保たれ、大気散逸が比較的進みやすい。地球では大気温度が高いために少量の赤外活性大気種が含まれただけでそれらの効率的な赤外放射によって大気散逸が著しく抑制される。このような流れ力学的散逸率の違いが現在の地球と火星の表層揮発性物質質量に差が生じた原因であった可能性がある。