

火星北半球における温度擾乱の三次元分布

Three dimensional distribution of the martian atmospheric temperature disturbance in northern hemisphere.

宇宙惑星科学講座 中村正人研究室 大島 亮

イントロダクション

火星は地球型惑星の中でも、固体の表面と比較的希薄な大気を持つこと、自転軸が 25°ほど傾いていて四季が存在すること、自転が比較的速く(自転周期 24.62 時間) コリオリカが大気の運動で重要な役割を担っていることなど、地球と多くの共通点を持つ惑星である。そのため、地球大気の特徴のいくつかは火星にも存在することが考えられ、古くから研究がなされてきた。しかし一方で、地球大気の運動に大きな影響を及ぼしている海が、火星には存在しない。また、地球には対流圏の上に極めて安定に成層した大気である成層圏が存在し、対流圏はいわば蓋をされた状態になっているが、火星では成層圏のようなものは存在せず上方まで単調に温度が下がっていく。このような地球との違いが火星大気に及ぼす影響についても数多くの研究がなされてきた。

さて、大気中でのエネルギーの輸送に重要な要素の一つに大気中の様々な波動があるが、これらの波動の研究として、大気中の温度の擾乱を考えるという手法が存在する。波動は直接見えるものではないが、波動が存在すれば大気中の温度が日々変動し、これが温度の擾乱として観測されるわけである。このように大気中の温度の擾乱から波動の性質を考えていくという研究は、地球大気では広く行われている。火星でも同様の研究は既になされており、特に火星でも偏西風が卓越する冬季の北半球高緯度で温度の擾乱が激しいことが知られている。しかしながら、これまでの研究は主に観測データの不足から、経度を無視して緯度と高度にのみ着目した議論がほとんどであり、温度擾乱の東西方向の構造はまだ詳しくわかっていない。わずかに Banfield et al. (2004) で温度擾乱の東西構造が議論されているが、この議論も地表付近に限った議論であり、温度擾乱の構造を三次元的に捉えるには至っていない。また、温度擾乱と背景の温度場、特に平均的な温度の南北勾配の関係は火星では議論がなされていない。このような情報の不足があるため、温度擾乱の背景に存在する波動がどのような波動であるのかはまだよくわかっていない。

そこで、本研究では火星における温度擾乱の緯度、経度、高度という三次元での構造を調べることで、温度擾乱の空間分布の特徴をつかみ、そこから背景に存在する波動がどのようなものであるのかを考察していきたい。

使用したデータ

本研究では火星大気中の温度擾乱を議論するため、アメリカの火星探査機 Mars Global Surveyor (MGS) に搭載された赤外干渉分光計 Thermal Emission Spectrometer (TES) の観測データを使用した。MGS は 1999 - 2006 年にわたって観測を行っており、火星年に直すと約 3 火星年分になる。また、TES は分光計であり大気中の放射スペクトルを計測する装置であるが、この放射スペクトルは大気中の放射輸送方程式を逆算することにより、温度の高度分布へと変換することが可能である。この変換作業をリトリバル(補償)と呼ぶが、実は TES のデータとしては放射スペクトルの他に TES のチームがリトリバルして得た温度の高度分布データも公開されており、今回はこのリトリバルされたデータの方を使用した。

解析方法

火星大気中の温度擾乱を求めるため、解析手法の最初の手順として、火星を緯度経度でマス目(これを bin と呼ぶ)に区切ることとした。すなわち、火星全体を経度 30°毎、緯度 5°毎の bin に分割し、その bin の中で温度が約 60 日間でどのくらい変動しているかを計算し、温度擾乱の値とした。また、1つの bin の中でも低緯度側と高緯度側では温度が異なり、その温度の南北勾配も計算した。この温度擾乱と南北温度勾配を求める作業を火星の各場所について行い、約 60 日(実際には 60 日より少し短い)毎の温度擾乱と南北温度勾配のセットとして地図上にプロットした。1火星年は 690 日程度なので、1火星年につき 12 個のセットとなる。これを 3 火星年分にあわせて行った。また、TES チームのリトリバルでは高度 0 - 40 km の範囲で 2.5 km 毎に温度の推定値が与えられており、今回の解析ではこの高度 0 - 40 km の中の 17 の高度毎にデータの解析を行った。

解析結果

まず温度擾乱の大まかな特徴ということで、高度 20 km での温度擾乱の季節変化を図 1 に示す。顕著な特徴としては、北半球の高緯度で冬の時期に温度擾乱が大きくなることとわかる。また、温度擾乱は東西に一様ではなく、南北に蛇行もするし、また擾乱の強度も経度によって異なることがわかった。北半球冬季高緯度で温度擾乱が大きいこと、また擾乱に地域性があることは先行研究でもいわれてい

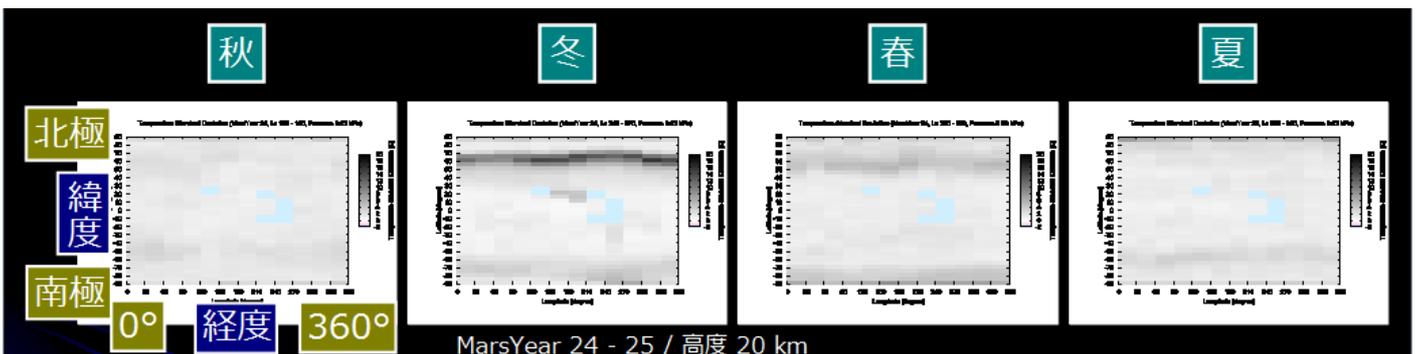


図 1 : 高度 20 km における温度擾乱の季節変化

たが、地表面から遠く離れた高高度でも擾乱に地域性があることが今回わかった。

次に、この北半球冬季高緯度に焦点を絞って議論を進めたいと思う。図 2 は 3 火星年にわたる北半球冬季高緯度での温度擾乱と南北温度勾配をプロットしたものである。ここから、MarsYear 24, 26 で温度擾乱の大きい帯状の領域（擾乱帯と呼ぼう）が似た蛇行パターンを示すこと、また擾乱の強度が大きい場所も似ていることがわかる。さらに温度擾乱と南北温度勾配が非常によい相関を持っていることもわかる。なお、MarsYear 24, 26 で共通して見られた特徴が MarsYear 25 では見られていないが、ちょうど MarsYear 25 の冬の

時期には火星全体を覆うような大規模なダストストームが起こっていたことがわかっており、そのダストストームのため他の年で共通して見られたパターンが MarsYear 25 では見られなかったのではないかと考えられる。

最後に、温度擾乱の高度変化を図 3 に示す。これは MarsYear 24 の冬の時期の北半球高緯度における温度擾乱を高度 10 km 毎に並べたものである。ここから、温度擾乱は高度 20 km 以上で顕著に大きいことがわかる。また、温度擾乱の蛇行パターンや擾乱強度の地域性はどの高度でもほぼ同じ特徴を持っていることもわかる。

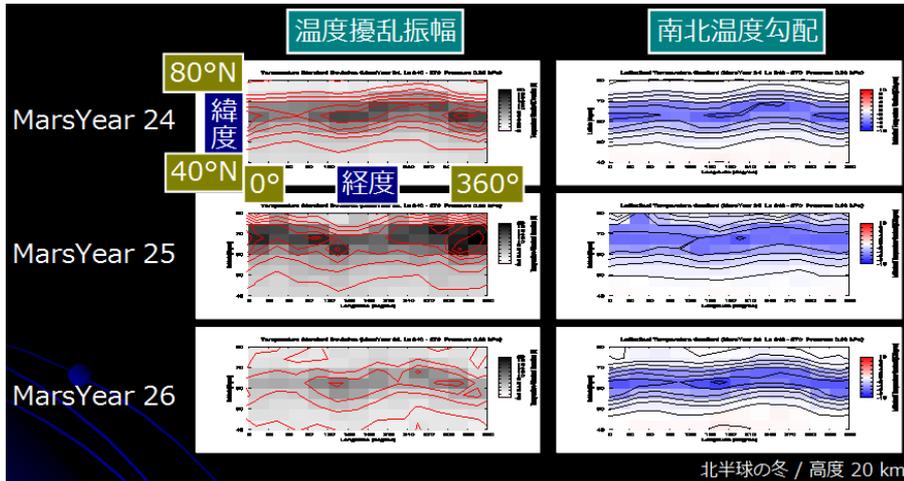


図 2：3 火星年間での北半球冬季高緯度での温度擾乱と南北温度勾配

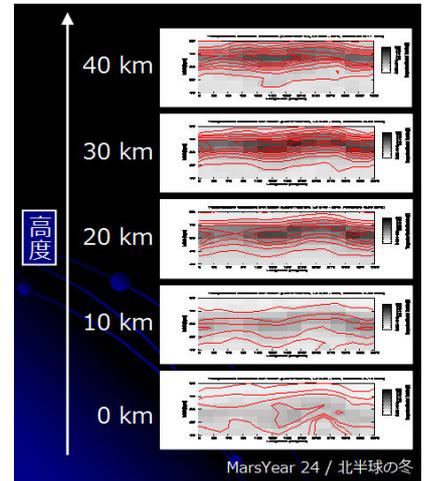


図 3：高度 10 km 毎の温度擾乱

考察

解析結果より、温度擾乱と南北温度勾配が非常によい相関を持っていることがわかった。大気が同じ距離だけ動いても温度勾配が大きい方が温度擾乱は大きくなるので、これはある意味自然なことといえる。逆に言えば、温度擾乱の東西非一様性は直接には南北温度勾配の非一様性が原因であり、その南北温度勾配の非一様性を作る原因こそが、根源的には温度擾乱の非一様性を作る原因といえるだろう。また、温度擾乱の強い場所が MarsYear 24, 26 で同じであることもわかった。ここから、この温度擾乱は何か緯度経度に固定された波動が関係していることが考えられる。ということはすなわち、緯度経度に固定された波動は南北温度勾配とも関係があると推測される。そこで、図 4 に示すように温度擾乱の等高線を火星の地形データに重ねたものを作成した。これは MarsYear 24, 高度 20 km における温度擾乱である。ここからわかるように、温度擾乱の大きな場所は火星の低地に位置していることがわかる。同様に、南北温度勾配の大きな場所も低地に位置している。このように緯度経度に固定されて風下側に大きな振幅を持つ波動として一番考えやすいのは、強制プラネタリー波である。このため、火星の南北温度勾配や温度擾乱での非一様性には強制プラネタリー波が大きな役割を果たしていることが示唆される。すなわち、強制プラネタリー波が南北温度勾配の東西非一様性を作り出し、その非一様性が温度擾乱の東西非一様性に現れていると考えられる。また、温度擾乱は高度 20 km 以上で大きな振幅を持つことも今回示された。強制プラネタリー波の励起源は地表面であるので、このことは、強制プラネタリー波が高度 40 km まで大きく減衰することなく伝播することを示している可能性が大きい。これは、対流圏の上に成層圏が居座っている地

球とは様相が異なっている。

まとめ

今回 MGS/TES の観測データからリトリーブして得られた温度データを用い、火星大気の温度擾乱について解析した。北半球高緯度で冬季に温度擾乱が大きくなること、地表面付近で温度擾乱に東西非一様性があることは既にわかっていたが、今回、その東西非一様性が温度擾乱と南北温度勾配とで非常によい相関を持っていることもわかった。温度擾乱や南北温度勾配が大きくなる場所は MarsYear 24, 26 で共通して火星の低地であり、ここから強制プラネタリー波が南北温度勾配の東西非一様性を作り出し、その結果として温度擾乱にも東西非一様性が生じると考えられる。また、温度擾乱は高度 40 km まで同じ東西非一様性を保ったまま大きな振幅になっており、強制プラネタリー波は少なくとも高度 40 km まで伝播している可能性が大きいといえる。

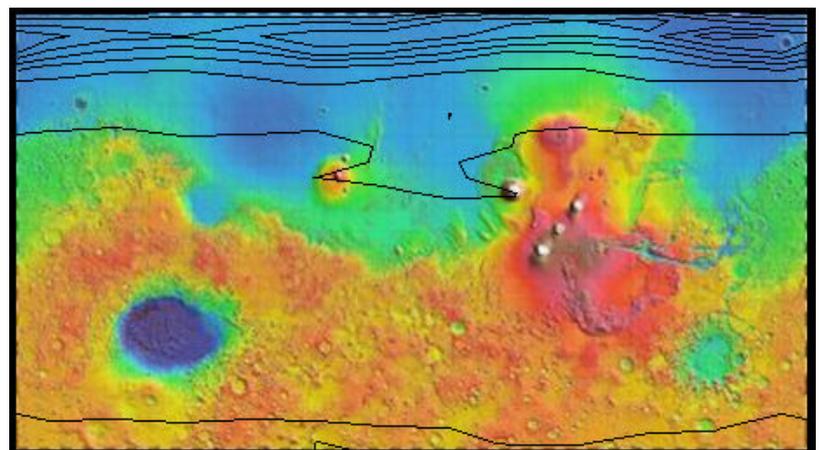


図 4：火星の地形図と温度擾乱