

氏 名	うめ 梅 谷 和 弘
学位(専攻分野)	博 士 (人間・環境学)
学 位 記 番 号	人 博 第 364 号
学位授与の日付	平 成 19 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研 究 科 ・ 専 攻	人 間 ・ 環 境 学 研 究 科 相 関 環 境 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	大気圧の広帯域スペクトルと気象現象

論文調査委員	(主 査) 教 授 鎌 田 浩 毅	教 授 阪 上 雅 昭	助教授 酒 井 敏
--------	----------------------	-------------	-----------

論 文 内 容 の 要 旨

大気現象には、高・低気圧の通過に伴うシノプティックスケールの変動（数日）から、地表面の局地的な乱流に伴う1-2分の変動まで、様々な時間スケールをもつ現象があり、それらを観測する際には、それぞれ観測目的、観測方法も異なるため、統一的に調べられた例は少ない。特に、中間的な時間スケールである数分から数時間の変動に関しては、地上風速の振幅が小さいことなどから、あまり注目されてこなかった。一方、近年の数値シミュレーションの高分解能化に伴い、スケールの小さいこの領域の現象までモデル内では再現できるようになってきたものの、観測データがないために、その現実性についてはまったくわかっていない。また、乱流などに伴う短い周期の変動現象は、近年問題となっているヒートアイランド現象などの都市規模の現象に大きな影響を与えるが、都市部での観測例はほとんどない。そこで、申請者は1-2分から数日までの時間スケールをもつ変動まで広帯域の気圧変動を記録できる観測システムを構築し、その観測システムを用いて京都市内で広帯域の気圧変動特性を調べた。

本論文は三章から構成されている。第一章ではこれまでの気象観測装置の問題点を指摘し、それを解決するための一般的な観測システムを開発し、京都のヒートアイランド観測に応用してその有効性を確かめた。

第二章は、新たな気圧の観測方法について論じたものである。開発した気圧センサは、微気圧センサと呼ばれるタイプのもので、毛細管で大気と接続された気圧チャンバーと大気圧の差圧を計測するものである。これは、もともと長周期の変動を減衰させて、短周期の気圧変動を計測するために使われていたものであるが、大気圧の変動が長周期になるほど大きいことを考慮すると、長周期波動を除去することは出来ず、チャンバーの特性周期より長い周期の変動は、短周期から長周期まで、ほぼ同じ振幅で出力されることになる。このことを逆に利用して、比較的ダイナミックレンジの狭いデータロガーでも、広帯域の気圧変動が記録できる測定器を製作し、ダイナミックレンジが極端に圧縮されて記録されたデータから実際の気圧変動を復元した。その結果、屋内の比較的溫度変化の小さい環境であれば、1日周期の変動に対して0.1hPaの精度で測定できることを示した。

第三章では、この気圧センサを使って、京都市内の4箇所で約3ヶ月にわたり気圧変動を観測した。この記録をスペクトル解析した結果、周波数ごとに特徴的な3つの領域に分かれることがわかった。その領域の境界は約4時間と10分の周期にあり、最も長周期の領域はシノプティックスケールの現象に対応する領域で、周波数 f に対してパワースペクトルが f^{-3} に比例する。この領域はこれまでにその変動特性が比較的良好に調べられてきた領域なので、以下、これ以外の中間領域と短周期領域について詳しく調べた。

中間領域は、これまでの風速の観測では、エネルギーレベルの低いスペクトルギャップとして特徴付けられてきたが、気圧変動で見ると、乱流領域に比べて相対的にエネルギー強度は大きく、スペクトルギャップを構成しない。この領域のパワースペクトルは f^{-2} に比例する。これは Garrett and Munk (1972) や VanZandt (1982) が理論的に解析した内部重力波の重ね合わせによるスペクトルと一致する。また、この領域の短周期側の境界は周期10分であるが、この周期は対流圏のブラ

ントバイサラ振動数とほぼ一致している。さらに、この領域では、水平方向に 800m 離れた地点間の時間変動のコヒーレンスが領域全体にわたって高く、数 km 以上離れた地点間でも、長い周期の変動に関してはコヒーレンスが高くなる。このことから、本論文では、この領域の変動は主に内部重力波によるものと推測している。

この領域の変動が内部重力波によるものであると仮定すると、風速のパワースペクトルと気圧のパワースペクトルの比率から、波の波長が求められる。内部重力波では風速と気圧の振幅の比率は、周期によらず波数とブラントバイサラ振動数の比だけで決まる。過去の風速観測のスペクトルと、今回観測した圧力のスペクトルを比較すると、中間領域全体を通してほぼ 2 桁の違いがあり、これから波の波長を求めると、約 6km となる。また、内部重力波の波数ベクトルの方向は、振動数とブラントバイサラ振動数の比で決まり、振動数が小さいほど波数ベクトルは鉛直方向に近くなる。中間領域が、ブラントバイサラ振動数からその 1 桁以上小さい振動数の領域にわたっており、振動数の小さい方がエネルギーレベルが高いことを考慮すると、この領域のほとんどの内部重力波が鉛直に近い波数ベクトルを持つと考えられる。対流圏の厚さが 10km 程度であることを考慮して、本論文では、この領域の波動は対流圏全体が振動するような大きな構造を持っていると推測した。

最も周期の短い領域は乱流領域と考えられ、日によってその強度が大きく変化する。また、パワースペクトルの傾きに決まった値があるようには見えない。この領域を昼間と夜間に分けて解析すると、夜間に水平方向に 800m 離れた地点間でみると、約 3 分の周期まで変動のコヒーレンスが高い。夜間には地表付近では逆転層によりブラントバイサラ振動数が大きくなることから、昼間より短い周期まで内部重力波が卓越するものと思われる。ただし、このような状況でも、内部重力波のエネルギー源は逆転層内に限られるため、中間領域のような f^{-2} のスペクトルは見られない。

昼間の短周期スペクトルは夜間よりも相対的に強く、その強度は平均風速と日射に関係がある。また、短周期スペクトルの強度が大きいほど、地表付近の CO 濃度が薄くなる傾向がある。CO は主として自動車から排出され、大気中に拡散していく。これらのことから、短周期の圧力変動は大気の乱流活動によるものと考えられ、気圧の観測から、大気乱流強度のモニターが出来ることが示された。

論文審査の結果の要旨

本論文は、大気の高・低気圧の通過に伴うシノプティックスケールの変動（数日）から、地表面の局地的な乱流に伴う 1-2 分の変動までの広帯域の気圧変動を論じたものである。申請者は、観測システムの開発、微気圧計の開発など、基盤となる技術開発から出発し、開発した測定器を用いて観測した圧力変動から、圧力変動の特徴とそれが示す現象を周波数ごとに調べた。

これまで大気圧の観測については、天気予報を目的としたシノプティックスケールの観測が中心で、それより短い周期の大気変動については、恒常的な観測網が存在しない。そのような周期の短い現象の中では、周期数分の大気乱流に伴う変動に関しては短期的な観測が比較的よくなされているが、通常、そのような観測は広い平野部で風速を中心に行われてきた。そのような個別の周波数帯域での観測結果を総合した結果、シノプティックスケールと乱流スケールの中間的な帯域は、スペクトルギャップといわれる風速のパワースペクトルが弱い領域であり、顕著な大気現象が存在しない領域とされてきた。一方で、電子計算機の計算能力は年々向上し、以前にはシノプティックスケールの現象しか計算できなかったものが、最近では数 km サイズのグリッドで日本周辺を含む領域で計算できるようになってきた。このような分解能で計算をすると、これまでのモデルでは現われなかった空間的にも時間的にも小さなスケールの現象が現われるようになった。しかしながら、そのようなスケールの観測が存在しないために、それが現実起っているものなのかどうかさえ明らかではない。

このような中で申請者は、これまで音波など極めて短い周期の変動を観測することにしか使われてこなかった微気圧計を使って、短周期からシノプティックスケールの現象まで一つのセンサーで連続的に測定する方法を考案した。これは、気圧変動の振幅が周期によって 6 桁も異なるのに対して、微気圧計が気圧の変動スペクトルとほぼ逆の特性を持つことを利用したもので、極めて独創的な方法である。

この方法で約 3 ヶ月の連続観測を行った結果、気圧変動で見る限り、周期 10 分から 4 時間の中間的な周波数帯にスペクトルギャップは存在せず、その領域は内部重力波が卓越しているらしいことが明らかになった。さらに、この領域の変動が内部重力波であるとすれば、波長数 km で、波数ベクトルはほぼ鉛直方向を向いたものになる。対流圏の厚さが 10km である

ことを考えると、この領域の波動現象は対流圏全体を振動させる大規模なものであることが示唆される。ただし、この結果は波の波長などを直接的に観測したものではなく、いくつかの間接的な証拠から導き出されたものであり、今後確認すべき点も残されている。しかし、これが正しければシノプティックな現象と乱流現象との間にはスペクトルギャップがあって、この二つは明確に分離されるとされてきた教科書的な認識を一変させるものである。また、このような波動現象が存在するとすれば、数値計算で現われたスケールの小さな変動も説明がつく。

一方、周期の短い現象に関しては、そのエネルギー強度が風速で見た乱流強度と整合性があること、平均風速、日射量との相関があり、地上のCO濃度とも相関が見られること、また、800mほど離れた地点での観測結果にコヒーレンスがないことから、この帯域の気圧変動が、乱流活動に伴うものであることはほぼ間違いない。これまで乱流活動は、数10mの観測塔上で風速を計測することで観測されてきたが、本論文の結果は、地上の気圧変動から乱流強度が見積もれることを示している。これは、これまで大掛かりな観測が必要であった大気乱流の研究が、非常に簡単な観測装置で行えることを意味し、今後の大気乱流の研究に大きく貢献するものである。

このように、申請者は独自の技術と視点で気圧変動を観測、解析し、新たな事実を明らかにしてきた。これは、従来の常識に囚われずに、広い周波数帯域にわたって一つのセンサーで均質なデータを取得しようとしたこと、さらに、そのためにあえて微気圧計というフラットな周波数特性を持たないセンサーを使用するという一見矛盾した方針をとったことで可能になったものである。これは、大気現象全般に対する知識はもちろん、センサーや記録系の特性および制約を熟知した上で、高い技術力と分析能力、そして極めて独創的な発想のもとに、この研究が行われてきたことを示している。

本研究科は、従来の学問体系の再構築を目的としており、本申請者が所属する関連環境学専攻自然環境動態論講座地球環境動態論分野は、従来の定型的な研究とは異なる発想、手法で地球上の現象を再解析することを目的としている。本研究はこの目的に合致したものである。

よって本論文は博士（人間・環境学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成19年1月18日、論文内容とそれに関連した試問を行った結果、合格と認めた。