

# 相関分析による地球温暖化の影響要因分析

Effect factor analysis of global warming based on correlation analysis

北海学園大学工学部社会環境工学科 ○学生員 森智聡 (Chisato Mori)  
北海学園大学大学院工学研究科 学生員 中村紘喜 (Hiroki Nakamura)  
北海学園大学工学部生命工学科 正員 鈴木聡士 (Soushi Suzuki)

## 1. 研究の背景と目的

近年、新聞やテレビなどのマスメディアでも取り上げられているように、地球温暖化が問題視されている。これに対し、温室効果ガスである CO<sub>2</sub> を削減する政策が全世界的に検討されている。この主な理由は、放射強制力(気候変化を引き起こす要因が温暖化に及ぼす影響力を、放射エネルギーの収支の変化量で表したものが圧倒的に大きいものが CO<sub>2</sub> だと言われているためであり、これを減らすことによって温暖化が止められると予想されるからである。

しかし、温暖化の原因とされる CO<sub>2</sub> が、実際にはどの程度影響を及ぼしているのか、あるいは本当に大きく影響を与えるものなのかという点について、マスメディアからの情報のみに頼ることなく、我々自身の手で確認する必要がある。また、ほかの人為的要因の有無とその影響度を認知する必要がある。

現状の温暖化に関する分析には、様々な気候変動のメカニズムを考慮したモデルが利用されているが、海流など大気・海洋の自然変動のタイミングを、現状では正確に予測することができないため、考慮されていない<sup>1)</sup>。それに加え、近未来の気候変化予測や長期変化傾向の信頼性が低いなどの欠点があることも、気象庁が情報提供している<sup>2)</sup>。また、このような分析には、スーパーコンピュータを使用するため、スーパーコンピュータを使用できる環境が必要な上、多大な費用がかかり、私たち自身が容易に分析できない状況にある。さらに、より正確な分析を行う場合、何十もある気候モデルについてダウンスケリングをしなければならないため、これにも多大な費用がかかる。

以上の背景を踏まえ、本研究では気候変動メカニズムの視点ではなく、統計学的視点から、温暖化の原因となる要素とその影響力の大きさを定量化し、人為的要因の影響度を把握した上で、温暖化防止に関する政策を提言することを本研究の目的とする。

## 2. 分析フローと変数データの概要

### 2.1 分析フロー

図1に示すように、まず気温に影響を与える要因のデータを整理する。次に、各要因が地球温暖化に与える影響度を、相関分析により定量化し、相関係数から影響力を比較する。その相関係数は有意なもののみを使用して積み上げ、各要因の影響度を比較する。その上で、人為的要因に着目し、CO<sub>2</sub> との影響度を比較して、地球温暖化対策に関する政策を提言する。

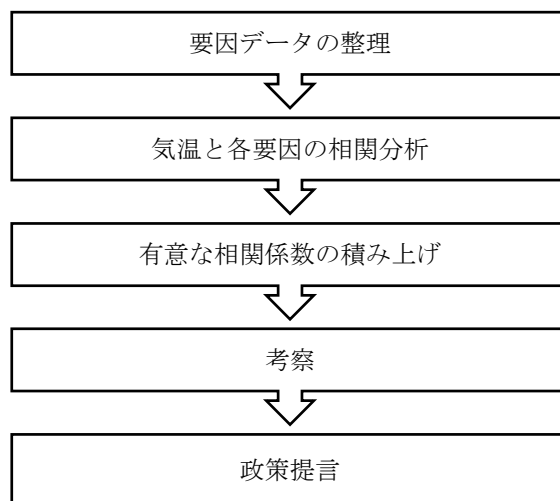


図1 分析フロー

### 2.2 変数データの概要

- 目的変数  
気温(年および月)を目的変数とする。データは気象庁の過去の気象データ<sup>3)</sup>を使用した。
- 説明変数  
CO<sub>2</sub>濃度、オゾン全量、海面水温、日射量、雲量、黒点数を説明変数とする(それぞれ年および月)。これは IPCC 第4次評価報告書による放射強制力を元に設定した。また、他に太陽活動の活発さを表す指標である太陽の黒点数、そして温暖化に影響を及ぼすとされている海面水温も含めた。  
CO<sub>2</sub>濃度は Earth System Research Laboratory のデータ<sup>4)</sup>を使用した。オゾン全量、海面水温、日射量、雲量は気象庁のデータ<sup>3)</sup>を使用した。黒点数は Sunspot Index and Long-term Solar Observations<sup>5)</sup>のデータを使用した。
- 対象都市  
札幌(1961年1月~2014年5月)  
つくば(1990年4月~2012年3月)  
鹿児島(1963年1月~2005年3月)  
那覇(1975年1月~2014年5月)  
上記の4都市を対象都市とする。これは緯度によって影響力の差が存在するかを調べるためである。

### 3. 相関分析による影響要因分析

表1に年平均気温と各要因の相関分析結果、表2~5に各都市ごとの月平均気温と各要因の相関分析結果を示す。表中\*\*は1%有意、\*は5%有意を表す。

また、特に注目しているCO<sub>2</sub>濃度と海面水温、オゾン全量には色を付けている。これは温暖化の主要因だと考えられているCO<sub>2</sub>と、温室効果が強いといわれるオゾン、そして中村による研究結果<sup>6)</sup>において、温暖化に

大きく影響を及ぼすと指摘された海面水温について特に影響力の大きさに注目しているためである。

さらに本研究では、有意な相関係数の和を算出し、それらを比較することで影響の度合いを示す。その結果を図2に示す。

そして、比較のため、図3にIPCC第4次報告書で示された放射強制力のグラフを示す。

表1 年平均気温と各要因の相関分析結果

順位		札幌	つくば	鹿児島	那覇			
1	CO <sub>2</sub> 濃度	0.731**	海面水温	0.506*	CO <sub>2</sub> 濃度	0.856**	CO <sub>2</sub> 濃度	0.698**
2	オゾン全量	-0.547**	CO <sub>2</sub> 濃度	0.497*	日射量	0.242	海面水温	0.457**
3	雲量	0.471**	日射量	0.403	海面水温	0.162	日射量	0.427**
4	海面水温	0.437**	オゾン全量	0.317	オゾン全量	0.132	オゾン全量	0.347*
5	日射量	0.285*	雲量	-0.093	雲量	0.123	雲量	-0.163
6	黒点数	0.015	黒点数	-0.058	黒点数	0.115	黒点数	-0.086

表2 札幌市の月平均気温と各要因の相関分析結果

順位		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月											
1	雲	0.592**	オ	-0.631**	オ	-0.521**	オ	-0.651**	日	0.472**	C	0.463**	オ	-0.599**	オ	-0.553**	C	0.664**	C	0.663**	C	0.396**	雲	0.475**
2	オ	-0.477**	C	0.365**	C	0.390**	日	0.490**	オ	-0.362**	日	0.442**	C	0.283*	日	0.474**	オ	-0.509**	オ	-0.515**	海	0.384**	オ	-0.441**
3	海	0.372**	海	0.245	海	0.246	雲	-0.295*	雲	-0.251	オ	-0.300*	海	0.264	C	0.363**	海	0.467**	海	0.348**	日	-0.381**	日	-0.428**
4	C	0.342*	日	-0.219	日	-0.122	C	0.248	C	0.216	海	0.249	日	0.139	雲	-0.345*	雲	0.356**	雲	0.278*	日	-0.207	C	0.205
5	日	-0.181	雲	0.138	雲	-0.061	海	0.240	海	0.197	雲	-0.236	雲	-0.128	海	0.240	黒	-0.125	日	0.170	黒	0.093	黒	0.181
6	黒	0.005	黒	-0.022	黒	-0.001	黒	0.021	黒	0.027	黒	0.051	黒	0.021	黒	-0.078	日	0.039	黒	0.088	雲	-0.071	海	0.143

表3 つくば市の月平均気温と各要因の相関分析結果

順位		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月											
1	オ	-0.329	オ	-0.243	オ	-0.490*	オ	-0.511*	オ	-0.260	日	0.594**	日	0.861**	日	0.801**	海	0.606**	海	0.559**	日	-0.473*	オ	-0.473*
2	日	-0.239	C	0.220	海	0.242	黒	0.333	日	0.249	雲	-0.531**	日	-0.741**	日	-0.643**	雲	0.305	雲	0.327	日	0.377	日	-0.457*
3	雲	0.170	日	-0.165	日	-0.152	海	0.233	C	0.179	海	0.381	海	0.582**	海	0.344	日	0.242	C	0.272	海	0.173	雲	0.398
4	海	0.082	海	-0.143	日	0.065	C	-0.145	オ	0.092	オ	-0.288	オ	-0.505*	C	0.257	日	0.084	日	0.175	C	0.157	黒	-0.230
5	黒	0.081	黒	-0.105	雲	0.061	日	0.090	日	-0.088	C	0.274	C	0.229	黒	-0.105	雲	0.069	オ	0.112	オ	-0.079	海	-0.077
6	C	-0.068	雲	0.015	黒	0.000	雲	0.018	黒	0.003	黒	0.243	黒	0.016	オ	0.041	オ	0.039	黒	-0.075	黒	0.055	C	0.061

表4 鹿児島市の月平均気温と各要因の相関分析結果

順位		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月											
1	C	0.449**	C	0.448**	C	0.530**	雲	0.338*	C	0.421**	オ	-0.499**	日	0.590**	C	0.551**	C	0.540**	C	0.549**	C	0.521**	C	0.606**
2	オ	-0.401**	オ	-0.333*	オ	-0.491**	C	0.223	オ	-0.348*	C	0.497**	日	-0.522**	日	-0.378*	海	0.463**	雲	0.443**	オ	-0.294	オ	-0.524**
3	日	-0.302*	雲	0.262	雲	0.390**	オ	-0.198	雲	0.274	日	0.184	日	0.466**	雲	-0.213	日	0.317*	海	0.342*	雲	0.290	日	0.095
4	黒	0.267	日	-0.261	日	-0.313*	海	0.172	雲	-0.224	海	0.149	海	0.333*	オ	0.198	黒	0.173	日	-0.130	海	0.117	海	0.078
5	海	0.173	海	0.058	黒	-0.103	日	-0.030	黒	0.130	日	-0.087	海	0.164	海	-0.087	黒	-0.058	黒	0.070	日	-0.092	雲	-0.071
6	雲	0.096	黒	0.039	海	-0.086	日	-0.086	海	0.027	雲	0.128	黒	0.005	黒	-0.026	オ	-0.037	オ	0.066	黒	-0.021	黒	-0.050

表5 那覇市の月平均気温と各要因の相関分析結果

順位		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月											
1	C	0.365*	C	0.599**	オ	-0.354*	オ	-0.212	日	0.476**	海	0.612**	日	0.698**	オ	0.726**	C	0.568**	海	0.498**	C	0.419**	C	0.304
2	オ	-0.281	海	0.458**	日	0.261	日	0.174	日	0.588**	日	0.588**	日	0.533**	日	0.651**	海	0.330*	C	0.443**	海	0.326*	オ	-0.290
3	海	0.241	日	0.447**	C	0.246	海	-0.161	C	0.240	C	0.447**	オ	0.461**	雲	-0.607**	黒	-0.258	黒	-0.377*	黒	-0.160	日	0.235
4	雲	0.158	雲	-0.317*	海	0.169	黒	-0.093	海	-0.171	雲	-0.421**	雲	-0.391*	C	0.597**	日	0.238	日	0.336*	オ	-0.126	雲	-0.165
5	黒	0.117	海	-0.182	雲	-0.142	雲	0.024	黒	-0.128	黒	0.289	海	0.388*	海	0.283	オ	0.237	オ	-0.058	オ	0.057	黒	-0.118
6	日	0.046	オ	0.000	黒	0.141	C	-0.018	オ	0.016	オ	-0.039	黒	0.045	黒	0.033	雲	-0.057	雲	-0.003	日	0.028	海	0.096

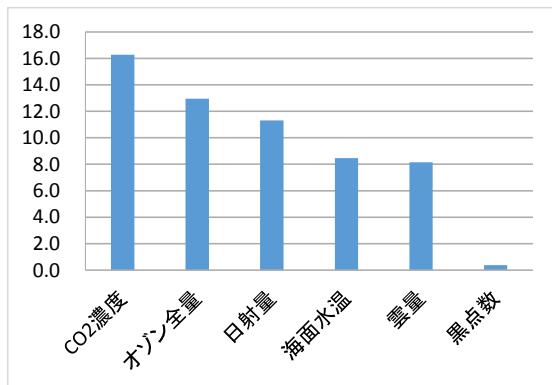


図2 相関係数(有意のみ)の合計値一覧

### Radiative Forcing Components

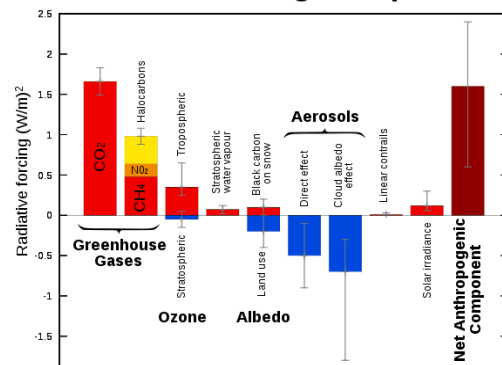


図3 放射強制力<sup>6)</sup>

これらの図表から以下のことが考察される。

- ① 図 2 より、CO<sub>2</sub> 濃度の相関が一番高いことがわかった。また、表 1 より、年平均においても、どの都市においても相関係数が上位となっていることがわかる。
  - ② 図 2 より、今まであまり注目されていなかったオゾンが、温暖化にかなり関わっていることがわかる。しかし、表 2~5 を見ると、月によって差があることがわかる。つまり、季節によって変動があると考えられる。また、地域によっても差があることから、緯度によって結果が変わってくる可能性が示唆される。
  - ③ 図 2 および表 2~5 より、海面水温も相関があるといえる。つまり、これまであまり考慮されていなかった海流に関する考慮しなければ、将来の温暖化予測が難しいと考えられる。
  - ④ 表 2 より、札幌市では全体的にオゾン全量の相関が高く有意であるものが多い。しかし、表 3~5 より、他の都市では、順位が高くて有意ではないものが多い。また、表 3 より、つくば市においては他の要因に比べ、日射量と雲量の相関が高い。これは他の都市にはあまり見られない特性である。
  - ⑤ 表 3~5 より、どの都市も夏から秋にかけてオゾン全量の相関が低くなっている。これはオゾン全量の季節的な変化があるためと考えられる。これに比べて CO<sub>2</sub> 濃度や海面水温は季節的な傾向があまり見られない。
  - ⑥ 図 2 より、CO<sub>2</sub> 濃度とオゾン全量の相関の差は、図 3 における CO<sub>2</sub> 濃度とオゾン全量の放射強制力の差に比べ、大きな差がないことがわかる。
- 以上①~⑥より、オゾンに着目して政策を提言する。

#### 4. オゾンに関する政策の現状と課題

##### 4.1 オゾンと温暖化の関係に関する概要<sup>7)</sup>

オゾン全量は低緯度で少なく、南北両半球の中・高緯度で多い分布となっており、特にオホーツク海付近は世界的に最もオゾン全量が多く、特に日本上空はオゾン全量の南北の差が大きくなっている。オゾン全量の季節的な分布の変化としては、日本を含む中・高緯度では冬季から春季にかけてオゾン全量が多くなる。

また、オゾンには対流圏オゾンと成層圏オゾンがあり、対流圏オゾンは赤外線を吸収するので増加するほど温暖化し、成層圏オゾンは紫外線と少量の可視光を吸収するので増加するほど寒冷化する。これらのオゾンの比率は全オゾンの中で対流圏オゾンが 1 割、成層圏オゾンが残りの 9 割を占める。

オゾンは NO<sub>x</sub> により分解または生成される。炭化水素の存在する対流圏では、NO<sub>x</sub> がオゾン生成の触媒として働き、逆に成層圏では NO<sub>x</sub> がオゾン分解の触媒として働くことから、NO<sub>x</sub> の増加はどちらの圏においても地球温暖化を進行させる。

##### 4.2 NO<sub>x</sub> 排出量の変化

1996 年と 2005 年の NO<sub>x</sub> 排出量の変化<sup>8)</sup>を図 3 に示す。

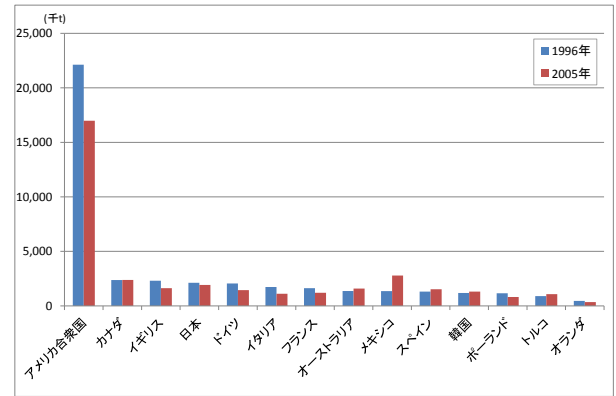


図 3 各国の NO<sub>x</sub> 排出量の変化

NO<sub>x</sub> の排出量は世界的にみると全体的に減少傾向ではあるが、オーストラリアやメキシコ、スペインなどで増加している。また、減少はしているが依然としてアメリカで非常に多く排出されていることがわかる。

また、アジアにおける NO<sub>x</sub> 排出量は 1980 年から 2000 年の 20 年間で約 2.5 倍に増加している<sup>7)</sup>。特に中国の増加が著しく、2000 年以降もその増加が持続していると考えられる。このような排出量の増加は、火力発電における石炭の燃焼と自動車排ガスの増加によるものが大きい。

NO<sub>x</sub> の排出源は固定発生源としては工場や火力発電所、家庭のボイラーなどであり、移動発生源は主に自動車である。都市部では特に自動車による排出が多く、排出量の半分以上を占める。

##### 4.3 ディーゼル

自動車の排気ガスに含まれる NO<sub>x</sub> 量を比較すると、ディーゼル乗用車は、ガソリン乗用車とハイブリッド乗用車の約 10.8 倍程度<sup>9)</sup>の NO<sub>x</sub> が排出されている。

ディーゼル車の現状についてはフランス・イタリア・ドイツなどといった欧州が大きなシェアを占める<sup>10)</sup>。その数は全世界のディーゼル車の新車の半数が欧州で登録されており、乗用車に限れば全新車の 3 分の 2 が欧州で登録されている。

欧州に次いでディーゼル車の多いインドはディーゼル乗用車の世界市場シェアの 15% を占める。その他にも米国の総新車登録台数に占めるディーゼル車の割合は 1% だが、ディーゼルモデルの種類が増えつつあることから、将来的にはマーケットシェアの拡大が見込まれる。

また、NO<sub>x</sub> 排出量の多い中国はディーゼル乗用車の世界市場シェアで占める割合はわずか 1% であるが、将来的には最先端のディーゼル技術の需要が中国の国内で高まり、市場の大きな成長につながると考えられる。

#### 5. 政策提言

4 章で述べたことから、対流圏オゾンを生成し成層圏オゾンを分解する NO<sub>x</sub> を減らすことが、温暖化を緩和するために有効な手段であると考えられる。そのために NO<sub>x</sub> を多く排出するディーゼル車を規制することが重

要であると考えられる。特に欧州はディーゼル車がシェアを大きく占めているため、欧州を中心に規制を進めていく必要があると考えられる。また、ディーゼル車の割合が増加した理由として、温暖化の原因のほとんどがCO<sub>2</sub>であるかのような報道により、CO<sub>2</sub>排出量を減らすことを最優先にしたためではないかと考えられる。そのため、もしマスメディアの報道に偏りがあるならば、改善する必要があると考えられる。

また、中国やアメリカについては、現状はディーゼル車の割合が少ないが、今後ディーゼル車の増加やディーゼル技術の需要の増加が見込まれるため、今一度見直しをするべきである。

さらに、火力発電所からのNO<sub>x</sub>の排出も多く、石炭など火力発電の燃料の埋蔵量にも限界があることから、NO<sub>x</sub>に加えてCO<sub>2</sub>の排出も抑制される自然エネルギーの利用拡大が求められる。同時に中国などでは工場からの排出ガスを規制することにより、近年問題視されている大気汚染を改善することも可能であると考えられる。

## 6. 結論

本研究の分析結果から、地球温暖化に最も影響を及ぼしているのはCO<sub>2</sub>であり、さらにオゾンも影響力が大きいことがわかった。この2つの要因については人為的要因であることから、対策を実施することで解決できる問題であると考えられる。CO<sub>2</sub>については、今まで通り排出規制をするということが対策の一つである。オゾンについては、生成・分解の触媒となるNO<sub>x</sub>の排出を規制することが一番の対策であると考えられる。

具体的にはNO<sub>x</sub>を多く排出するディーゼル車と火力発電所の見直しである。ディーゼル車については欧州のシェアが半数を占めるので、欧州で規制を行うことで、かなりの改善が見込まれると考える。また、将来的にシェアが増加すると見込まれるアメリカや中国でも今一度見直しをするべきである。火力発電所については、燃料の埋蔵量も考慮し、自然エネルギーを利用した発電に移行するべきである。こうすることでCO<sub>2</sub>とNO<sub>x</sub>の両方の排出を抑制することができると思われる。

今後の課題としては、本研究では様々な自然のメカニズムを考慮していない点があり、これによって将来予測が難しいという点である。自然のメカニズムを考慮した場合、海流の周期によって海面水温が周期的に変化してくる可能性や、太陽の黒点数が直接ではなく間接的に温暖化に影響を及ぼしている可能性も考えられる。

## 参考文献

- 1) 北海道新聞：2014年7月7日
- 2) 気象庁：地球温暖化予測情報 第8巻  
(<http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/GWP/Vol8/pdf/all.pdf>)
- 3) 気象庁：過去の気象データ・ダウンロード  
(<http://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php>)
- 4) NOAA Earth System Research Laboratory : Mauna Loa CO<sub>2</sub> monthly mean data  
(<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/#mlo>)
- 5) Sunspot Index and Long-term Solar Observations : Monthly mean total sunspot number  
(<http://sidc.oma.be/silso/datafiles>)
- 6) IPCC : IPCC 第4次評価報告書
- 7) アジア大気汚染研究センター : 増え続ける対流圏オゾンの脅威  
(<http://www.acap.asia/acapjp/doc/ozone.pdf>)
- 8) 環境省 : 各国の窒素酸化物 (NO<sub>x</sub>) 排出量の推移  
(<http://www.env.go.jp/doc/toukei/contents/#6shou>)
- 9) 経済産業省 : ガソリン、ディーゼル、ハイブリッド乗用車の総合比較  
(<http://www.meti.go.jp/committee/materials/downloadfiles/g50222a10j.pdf>)
- 10) BOSCH : 中国から米国までのディーゼル市場の概況  
(<http://www.bosch.co.jp/jp/press/pdf/group-1309-14-release.pdf>)