

学位論文題名

シベリア北極圏における大気環境汚染の現況調査と汚染機構の解析

学位論文内容の要旨

近年、北極圏においては、冬～春季にアークティック・ヘイズ（北極煙霧層）と呼ばれる黒い煙霧層が発生するようになり、大気汚染が深刻化してきている。ただしこれまで北極圏の約3分の1を占めるシベリア地域においては、大気環境調査はなされておらず、北極圏全域の汚染状況の把握ができなかった。しかし近年のロシアの政治状況の変化により、外国人研究者によるロシア国内における学術調査が可能となってきた。本研究は、1993年から3年間にわたりシベリアのヤクーツク、ティクシ、ノリリスク、その他の地域において大気中の汚染物質濃度および土壌沈着汚染物質濃度の測定調査を行い、その結果を基に、シベリア北極圏における大気環境汚染の実態を明らかにし、汚染機構の解析を行ったものである。以下に本論文の要旨を述べる。

第一章では、本論文の背景として、北極圏においてこれまで行われてきた大気環境汚染調査について概説し、さらに本研究の目的を述べた。

第二章では、まず、ロシア連邦のハバロフスク市、サハ共和国の首都ヤクーツク市、炭鉱都市であるネリュングリ市、およびエニセイ川河口の鉱業都市ノリリスク市における、分子拡散サンプラーを用いた夏季の二酸化硫黄(SO_2) および二酸化窒素 (NO_2) の濃度分布測定結果について述べた。 NO_2 についてはいずれの都市も札幌とほぼ同じかまたはそれ以下の濃度であったが、 SO_2 については、ノリリスク市において、札幌に比べて10倍以上の高濃度を示した。次に、ヤクーツク市およびノリリスク市内において、3年間にわたり大気中のエアロゾル成分濃度および SO_2 、 HNO_3 ガス濃度の連続測定を行った。なお今回、 SO_2 のサンプリングにパーマピュアドライヤーを応用することにより、これまで不可能であったシベリアのような極寒の地における SO_2 測定が初めて可能となった。これらの結果、ヤクーツクにおける大気エアロゾル成分およびガス成分の濃度はほぼ札幌と同程度であったが、ノリリスクにおいては、エアロゾル中の硫酸イオン成分濃度が高く、さらに SO_2 ガス濃度については半月あるいは一カ月平均で100～200ppbという異常な高濃度を示した。この結果ノリリスク市周辺の樹木は立ち枯れしていわゆる酸性雨被害が発生しており、さらに住民への健康影響も危惧されるところである。

第三章では、サハ共和国のレナ川河口、北極海の沿岸にあるティクシ市の郊外において測定された大気エアロゾル成分および SO_2 、 HNO_3 ガス濃度の季節変動について述べた。各成分ともに冬季から春季にかけて濃度が上昇しており、アークティック・ヘ

イズがティクシ周辺にまで出現していること、およびアークティックヘイズが主として硫酸イオンおよび有機物と黒色純炭素から構成されていることが明らかになった。また、この組成分析結果に基づき算出されたアークティック・ヘイズの単一散乱アルベドは、これまでにアラスカやカナダにおいて得られたものとほぼ同じ値となった。

第四章では、永久凍土域にあるヤクーツク、ティクシおよびノリリスクの郊外の数カ所において土壌のサンプリングを行い、帰国後、その土壌試料中の重金属汚染成分の分析を行った結果について述べた。特にティクシ郊外の土壌中に含まれている砒素、ニッケル、クロム、バナジウム、銅の濃度がヤクーツクの土壌中の10倍以上の高濃度となっており、ノリリスクやヨーロッパロシアおよび中部ヨーロッパで排出された大気汚染物質がアークティック・ヘイズを発生させ、最終的には永久凍土土壌に沈着し、蓄積されていることが推測される。

第五章では、1994年1年間の毎日6時間毎に、ノリリスクからの10日間の前方流跡線解析およびティクシからの10日間の後退流跡線解析を行い、シベリア北極圏における大気汚染物質の長距離輸送過程の解析を行った結果について述べた。この結果、ノリリスクからの排煙は、冬季はティクシを通して北極海海上へ、一方夏季にはシベリア大陸内部に輸送される場合が多いこと、またティクシへは、冬季にはノリリスクおよびウラル工業地帯から汚染物質が輸送され、春季には北極海からアークティック・ヘイズが侵入してくることが分かった。

第六章では、シベリア北極圏、特にティクシ周辺の永久凍土層への大気汚染物質の沈着と蓄積作用について述べた。永久凍土層は夏季にその上部30~50cmの深さの活動層と呼ばれる部分しか融けず、秋にはまた全層凍結してしまい、温帯地域のような地下水による成分流出がない。このため、永久凍土表面に沈着した汚染物質は、活動層内に閉じ込められ、蓄積されていく。ティクシにおける冬季の大気エアロゾル中には、土壌起源エアロゾルと比べて、バナジウムが4000倍、鉛が2000倍、銅が900倍、砒素が700倍も濃縮されて含まれており、これらのエアロゾルの沈着によりティクシの土壌中のバナジウムや砒素等の汚染重金属成分はヤクーツクに比べて約10倍以上の高濃度となっている。今後もアークティック・ヘイズの発生が繰り返される限り、北極圏における永久凍土表層への重金属成分および酸性成分の沈着蓄積は継続されることとなり、動植物生態系、さらには人体への影響が甚大なものとなってくるであろう。

第七章は、本研究の総括である。

以上のように、本研究は、これまで不明であったシベリア北極圏の大気環境汚染について、初めて現地調査を行い、その実態を明らかにし、さらに大気汚染物質の沈着による永久凍土表層への蓄積作用について初めて言及したものであり、今後のシベリア北極圏の大気環境汚染研究のための先駆けとなるものである。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 太 田 幸 雄
副 査 教 授 田 中 信 壽
副 査 教 授 恒 川 昌 美

学位論文題名

シベリア北極圏における大気環境汚染の現況調査と汚染機構の解析

近年、北極圏においては、冬～春季にアークティック・ヘイズ（北極煙霧層）と呼ばれる黒い煙霧層が発生するようになり、大気汚染が深刻化してきている。このアークティック・ヘイズは、北半球の気候に影響を及ぼし、北極圏の生態系を攪乱し、さらには北極圏住民の健康にも悪影響を及ぼしているのではないかとされており、その実態の把握と汚染機構の解明、および環境影響の予測・評価は重要な研究課題となっている。

本論文は、この北極圏の中でこれまで調査の行われていないシベリアのヤクーツク、チクシ、ノリリスクその他の地域において、1993年から3年間にわたって大気中の汚染物質濃度の測定調査を行い、その結果を基にシベリア北極圏における大気環境汚染の実態を明らかにし、汚染機構の解析を行ったものであり、主要な成果は次のように要約される。

1) サハ共和国の首都であるヤクーツク市、鉱業都市であるノリリスク市など4都市において夏季のSO₂およびNO₂の濃度分布測定を行った。その結果、NO₂についてはいずれの都市も札幌とほぼ同じかそれ以下の濃度であったが、SO₂についてはノリリスク市において札幌と比べて10倍以上の高濃度を示した。

2) ヤクーツク、ノリリスクおよび北極海沿岸のチクシにおいて、大気中のSO₂、HNO₃ガスおよびエアロゾル成分の通年測定を行った。この結果、ヤクーツクにおいてはガス、エアロゾル成分ともに札幌と同程度の濃度であったが、ノリリスクにおいてはエアロゾル中の硫酸イオン濃度が高く、またSO₂濃度は半月平均で100ppbvという異常な高濃度を示した。この結果、ノリリスク周辺の樹木は立ち枯れしていわゆる酸性雨被害が発生しており、住民の健康被害も危惧される。

3) チクシにおいては、冬季から春季にかけて、主として硫酸および有機物と黒色純炭素から成るアークティック・ヘイズが出現していること、およびその単一散乱アルベドは0.87であることがわかった。さらにチクシにおける大気エアロゾル中には、土壌起源エアロゾルに比べてバナジウムおよび銅がはるかに高濃度に濃縮されて含まれており、遠方の人為汚染物質がチクシまで長距離輸送されてきていることが示唆された。

4) チクシへの後退等温位流跡線解析およびノリリスクからの前進等温位流跡線解析を行ったところ、チクシには、冬季にはノリリスクおよびウラル工業地帯から汚染物質が輸送され、春季には北極海からアークティック・ヘイズが侵入して来ること、一方ノリリスクからの排煙は、冬季には北極海上へ輸送される場合とシベリア大陸内部へ輸送される場合があり、夏季には主としてシベリア大陸内部に輸送されることがわかった。

5) ヤクーツク、ノリリスクおよびチクシ周辺の土壌の重金属分析を行ったところ、特にチクシ周辺の土壌中にバナジウム、銅などがヤクーツク周辺土壌の約10倍以上の高濃度で含まれており、アークティック・ヘイズ中に含まれている人為汚染物質が、シベリアの北極海沿岸の永久凍土の表層に沈着し、蓄積されていることが示唆された。

これを要するに、著者は、これまで不明であったシベリア北極圏における大気環境汚染について、初めて現地調査を行ってその実態を明らかにし、汚染物質の長距離輸送過程の

解析を行い、さらに沈着した汚染物質が永久凍土表層において蓄積濃縮されていくことを指摘しており、大気保全工学および環境工学に対して寄与するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。