

Dust transportation of Northeast Asia: A Case study of dust emission, distribution and transport from Gobi Desert region

TSEDENDAMBA PUREVSUREN

(Doctoral Course of Food Production and Utility Development, Graduate School of Dairy Sciences, Rakuno Gakuen University)

Extension abstract

Mongolia is one of the severe arid to the south and with cold and mountainous regions to the north and west. Over Gobi Desert and steppe, arid and semi-arid regions, often occur the natural disasters such as dust storm. This study aims to examine the relationship between Normalized Differential Vegetation Index (NDVI) and dust storm observations in Mongolia during 2000 to 2013. The results reveal that a correlation between dust storm and vegetation cover reasonable negative relationship, the r -value was -0.5 . For the analysis, we examined correlation between the precipitation and the NDVI. Dust storm occurrence had increased with decreasing of annual precipitation in spring. The most degraded area was southwest region of the Gobi with the least precipitations. The distribution and transport of windblown dust in the North-East Asia that occurred in the North East Asia from 28 March to 2 April 2012, was investigated. Data of particulate matter less than 10 micrometers (PM_{10}) near the surface and LiDAR measurements from the ground up to 18 km was used in the study. A severe dust event originated over the southern Mongolia and northern China on March 29, and the wide-spread dust moved from the source area southeastward toward Japan next few days. Maximum of PM_{10} during the dust storm event were 2 times higher in comparison with normal atmospheric condition. Windblown dust was reaching to Japan Islands after 2 days from the originating area. Heights of dust vertical distribution by LiDAR measurements were with a thickness of 1 to 2 km in the lower layer of atmosphere and getting higher to the great distances from the source areas.

In the Chapter 1 of Introduction, I study about the specific features of desert zone and climate change in Mongolia. During the last 60 years the annual mean air temperature has increased $1.56^{\circ} C$. The winter temperature has increased $3.61^{\circ} C$ and the spring-autumn temperature $1.4-1.5^{\circ} C$. The country's average precipitation between 1940-1998 has increased by 6%. However, the spring precipitation decreased by 17%. The spring dryness occurs mainly in May. The rapid increase in temperature and considerable decrease in precipitation in the spring sowing period have significant negative impacts on dust storm outbreak.

In the Chapter 2, purpose to examine the relationship between NDVI and

meteorological data in Mongolia during 2000 to 2013 in Gobi Desert, Mongolia. In all sites, there were positive correlation between NDVI and precipitation between May to August, 2000–2013. Dust storm occurrence had increased with decreasing of precipitation in spring. Comparing Spring' s NDVI and previous summer precipitation. We assume that summer precipitation becomes the limiting factor for the vegetation growth. The dust storm occurred during 2000–2013 are depended on precipitation of last summer and the vegetative coverage.

In the Chapter 3, focusing on spatial and temporal distribution of dust events over Mongolia based on the results of previous research. We examined the association maximum duration day of dust storms occurred in March from 2000 to 2014 in Gobi, Mongolia. Maximum duration day of dust storm was observed at 12.04 hour from March 29–30, 2012 in Zamyn-Uud station.

In the Chapter 4, purpose to investigate the effects of long-distance transport from dust events occurring in Mongolia by cross-examining the elevated level of particulate matter in neighboring countries. An Asian dust event occurring from 28 March to 2 April, 2012 was analyzed by ground observations of PM_{10} , dust vertical spread by AD-Net LiDAR measurements and dust transport by air mass trajectories using the NOAA HYSPLIT model. The main results shown:

a). Climatological data of dusty days show that the number of dusty days at only Zamyn-Uud, Mongolia has an increasing trend; b). A low-pressure system and its cold front resulted in strong winds that transported dust from the source area across Northeast Asia at the end of March and the beginning of April, 2012 (see Figure 1). The dust storm also created an increase in PM_{10} particles in the dust source area as well as in the downwind areas. Dust concentration of PM_{10} near the surface is higher in the source areas of the Gobi Desert in Mongolia and China and less in the downwind areas during transport such as in Korea and Japan; c). LiDAR measurements showed that dust vertical diffusion in the atmosphere is lower in the source area during the dust storm period and increases in the downwind areas especially when transported across far distances (see Figure 2). The trajectories of air mass confirmed that dust can be transported from the dust source areas in Mongolia and China to the Korean Peninsula and Japan (see Figure 3).

In the Chapter 5, shown the previous study result of ecosystem regime shifting of Mongolian plateau. According to the major theoretical finding when it comes to regime shifts is that ecosystems recover slowly from small perturbations in the vicinity of tipping points. The provided water condition such as rainfall is one of the most

important factors for vegetation especially in arid regions.

Chapter 6 shows main conclusion of precipitation was a determinant of vegetation productivity in arid regions and a driving force for ecosystem change. The frequency of dust storms is increasing in the spring when annual average precipitation is decreasing, and it is found that the occurrence of dust storms in spring is highly dependent on the summer precipitation in the previous year. In the Gobi Desert, where dust storms occur, the frequency of dust storms increases as the wind speed increases, and critical wind speed is 6.5 m/s (a constant threshold. It was also confirmed that the dust storm generated in the Gobi Desert reached the Japan in just two days via Seoul in northern China, and the PM_{10} concentration reached more than twice the normal level.

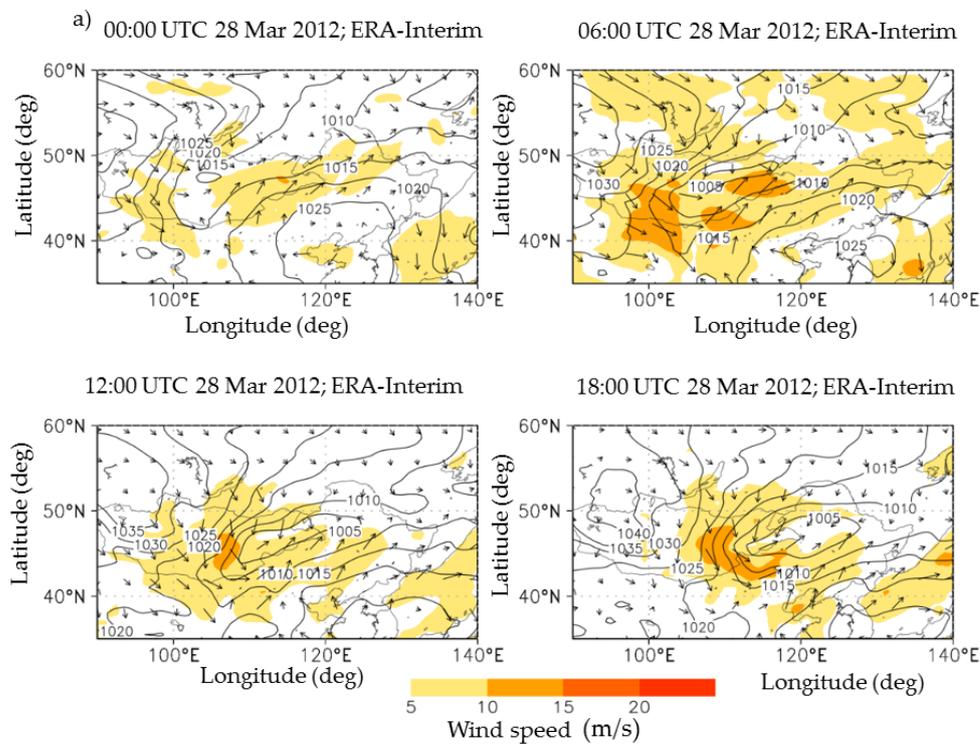
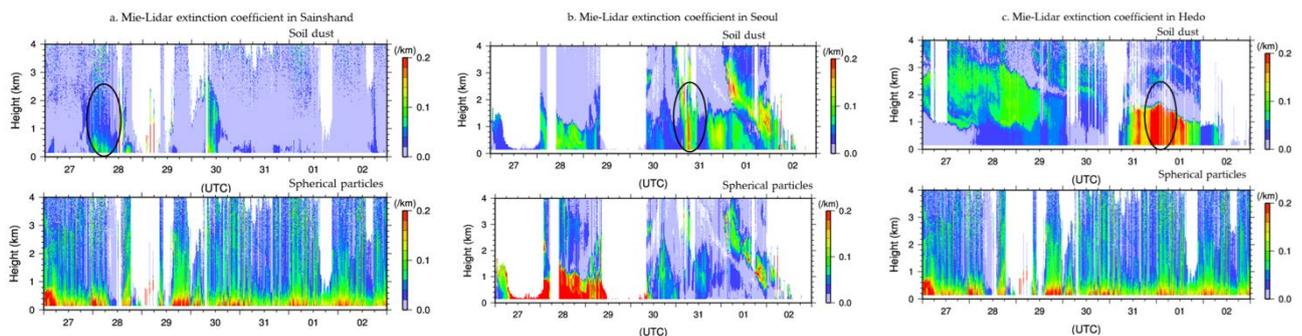


Figure 1. Sea level pressure (hPa) by contour and 10-m wind vectors using the ERA-Interim from 00:00 to 18:00 UTC on (a) 28 March 2012 over



Mongolia.

Figure 2. The Mie LiDAR extinction coefficients of non-spherical aerosol (dust) and spherical aerosol in Sainshand (a), Seoul (b), Hedo (c) from 28 March to 2 April, 2012 (Note: Time (UTC) in the horizontal axis and height in the vertical axis. The black circles indicate suspected dust observation).

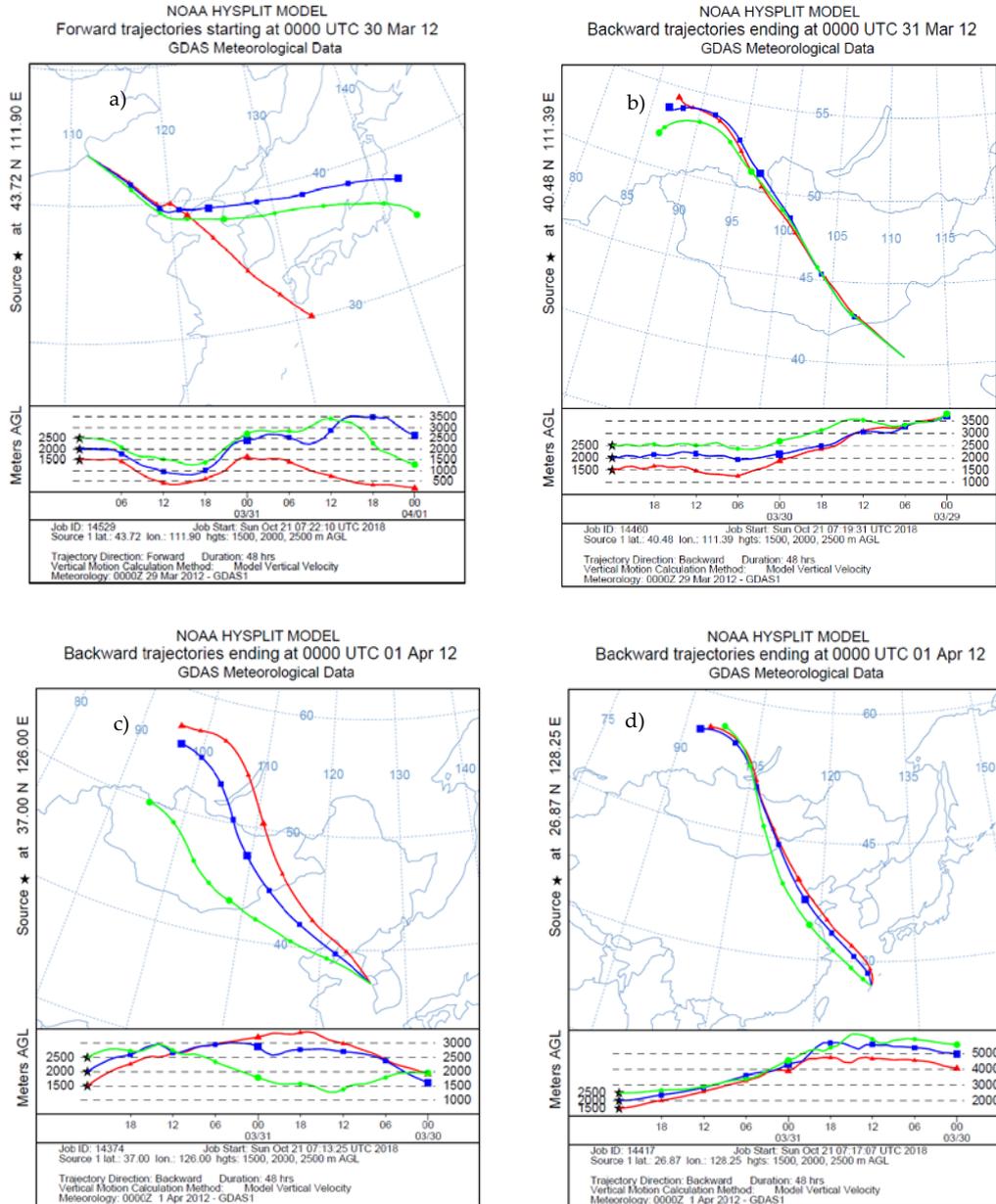


Figure 3. Forward and backward air mass trajectories using the NOAA HYSPLIT model: a) forward from Zamyn-Uud, Mongolia, b) backward from Hohhot, China, c) backward from Seoul, Korea d) backward from Hedo, Japan.

論文審査の要旨および結果

1 論文審査の要旨および結果

本研究は 2000 年～2013 年間の正規化植生指数(NDVI)とモンゴル国各地の気象ステーションで観測されたダストストームの記録データを用いて、ダストストームの発生と地上植被率、及び降水量との相関を調べた。その結果、ダストストームの発生と植被率の間は負の相関が認められた($r = -0.5$)。また、全サイトにおいて降水量と NDVI の間に正の相関が認められた。更に、ダストストームの発生頻度の年次変動としては年平均降水量が減少傾向を示す春季においては増加傾向にあることが判明された。特にこの傾向はゴビ・砂漠の南西部では著しくであることが示唆された。本研究は更に北東アジア地域におけるダストストームの輸送経路とダスト粒子の沈着を明らかにするために、地上観測 PM₁₀と上空 18 キロまでの大気垂直断面を観測可能な LiDAR 観測装置を用いて、2012 年 3 月 28 日～4 月 2 日かけてのダストイベントの分析を行った。その結果、2012 年 3 月 27 日～28 日にかけてゴビ・砂漠から発生したダストストームは中国北部を經由して、30 日から 31 日にかけてソウルの上空に到達し、31 日から 4 月 1 日にかけて辺戸の上空に到達した。また、PM₁₀ の濃度が通常の 2 倍以上に到達したことも確認された。今回のイベントの場合、発生源地域から日本列島に到達するまで僅か 2 日間しかかからなかったことも分かった。LiDAR 測定によるダストの垂直分布の高度は、地上では 1～2 km の厚さがあり、ソースエリアから遠く離れるほど高くなる傾向ことが示された。

本文が全 6 章で構成され、第一章は序論として学術背景、問題提起、研究の目的と手法などが書かれている。ここで注目点は、モンゴル高原のゴビ・砂漠地域では、過去 60 年間に冬の平均気温の上昇率が年平均の 1.56℃より 2 倍も高く 3.61° も上昇したことに對して、冬から春にかけての年平均降水量が逆に 17%も減少したことが述べられた。このことがダストストームの増加傾向をもたらしたと結論付けられた；第二章では衛星植生指数 NDVI とダストストームの発生頻度との関係、及び降水量との相関が書かれている。結果として、NDVI とダスト発生頻度の間には負の相関が認められ ($r = -0.5$)、降水量と NDVI は全サイトにおいて正の相関が認められたことが書かれている。

また、第三章では、モンゴル国上空で発生するダストイベントの時・空間的分布パターンについて研究結果が示されて、2000 年～2014 年の間、モンゴル国のゴビ・砂漠地域で発生したダストストームの最大継続日(ダスティデー)は中国との国境の町であるザミンウド(Zamyn-Uud)で観測された 2012 年 3 月 29～30 日にかけての 12.04 時間だったことが書かれている；第四章では、本博士論文の最も重要な内容であり、アジア内陸発生ダストストームの長距離輸送の経路が示された。近隣諸国における高レベルの粒子状物質を調査することにより、モンゴル国ゴビ・砂漠から発生するダストイベントの長距離輸送とその影響を明らかにした。本研究は 2012 年 3 月 28 日～4 月 2 日間に発生したアジアのダストイベントに関して、PM₁₀の地上観測、AD-Net LiDAR 測定によるダスト垂直拡散、NOAA HYSPLIT モデルを用いたダスト気団(air mass)の軌道追跡によるダストストームの長距離輸送シミュレーションを行った。結果として、1) 気象観測データの解析からダスティデーは、モンゴルのザミン・ウード(Zamyn-Uud)の観測点のみは増加傾向を示した；2) 低気圧とその寒冷前線により、2012 年 3 月末～4 月初めにゴビ・砂漠を発生源とし、北東アジアを横断したダストイベントは強風とより強い関連があることが示された；ダストストームが発生時に、発生源エリアと風下エリアの PM₁₀ 粒子濃度は著しく増加する；地表面近くの PM₁₀ の濃度は、

モンゴルと中国北部のゴビ砂漠の発生源地域で最も高く、通常の2倍以上の値を示し、風下地域の韓国や日本などでは若干少ないことも示唆された； 3) LiDAR 測定により、大気中のダストの垂直拡散は、ダストストーム期間中は発生源エリアで低く、特に遠距離に輸送される場合は風下エリアで増加する傾向が確認された。ダスト発生時の気団(air mass)軌跡は、発生源のモンゴル国と中国国境地帯のゴビ・砂漠から下風の朝鮮半島と日本列島の上空を通過して太平洋へ輸送されることがモデルで確認された；第五章では、環境変動と人為活動などによる生態系のネットワークの崩壊がエコシステムレジームシフトを引き起こすことへの危険性について述べられた；第六章は結論として、本研究は観測された気象データ、NOAA と MODIS などの人工衛星データ、AD-Net 地上 LiDAR 測定データ、及びフィールド調査データを用いて、モンゴルのゴビ・砂漠を発生源とするアジアダストストームの発生のメカニズム、長距離輸送への影響を明らかにした。

本学位論文の構成、質と学術的原著性、独創性、先進性について主査・副査の審査担当者の4名で数回にわたって議論を重ねて、TSEDENDAMBA PUREVSUREN 氏が最終提出した学位論文は「モンゴルのゴビ・砂漠地域を発生源とするアジアダストストームの発生の時・空間特性に関して、輸送経路と時間に関して、また沈着エリアにおける PM₁₀ の濃度について研究され、オリジナリティがあり、研究の手法と研究結果がこの分野の学術的発展に一定の貢献をしたことが認められた。また、この論文の中核の部分が国際誌 *Atmosphere* 2019, 10(2) (IF=2.046) に掲載され、引用されている。共同著者としてほかにも多数の論文が掲載されている。

よって、申請者である SURIGA 氏は博士(農学)の学位を授与されるに十分な資格を有すると審査員一同は認めた。

2 最終試験の結果

審査委員4名が最終試験を行った結果、合格と認める。

2019年9月2日

審査委員

主査	教授	星野	仏方
副査	教授	萩原	克郎
副査	准教授	能田	淳
副査	准教授	馬場	賢治