

気象条件から遠方の見え方は予測できるか

Relationship between atmospheric conditions and visibility

吉田 悠人

東京都立戸山高等学校 SSH 地学 2 年

Abstract

When I was a junior high school student, I found visibility and clearness of atmosphere were improved after typhoon passed. Then, I thought it was caused by changing weather conditions. I observed distant views, collected various types of weather data, and analyzed them. At last, I realized that change of atmosphere was affected by not only weather condition, but concentration of SPM (Suspended Particulate Matter).

Key Word: visibility, weather condition, SPM (Suspended Particulate Matter), observation

I. はじめに(動機、目的)

令和元年台風の通過後、私は普段よりも富士山を見通したときの空気の透明度が高くなっていることに気が付いた。台風が通過した9月頃は普段であれば空気が白み、シルエットとして見えることが多い富士山がその日に限って冬季のように山肌まで確認できるほど空気が澄んでいた。それ以降遠くの景色の見え方に注意して過ごす中で、「気象の変化と視程の変化には関係があるのではないか」という疑問に至ったことがこの研究の発端となった。

ここでは、日々遠くの景色の観測を続けることで得られた視程のデータを基に、気象庁や環境省が公開するデータとの分析の中で、視程や透明度の変化と気象条件の間にはどのような関係があるか、どのような要因で視程が変化するのか、という事を明らかにしていく。

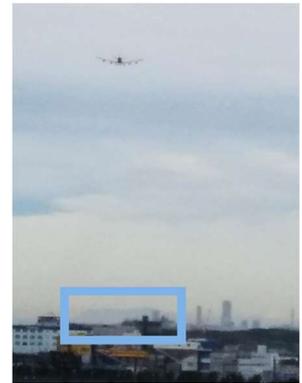


図1 台風通過後に観測された天城山(水色枠内)

II. 定義

内容の説明に入る前に、この研究のテーマとなる「視程」について定義を確認しておく。

気象庁に於いて「視程」は「地表付近の大気の混濁の程度を見通しの距離で表したもので、昼間の視程は、その方向の空を背景とした黒ずんだ目標を肉眼で識別できる最大距離である」と定義されている。一方で、本研究に於いては「観測した当日に視認出来た目標物の中で、観測地点から最も遠いものまでの距離」と定義する。

III. 研究手法

観測用に設定した15個の目標物を東京都江戸川区の自宅から毎朝7時頃に定点観測し、観測で得た視程のデータを、気象庁や環境省が公開するデータと参照して分析を行った。

(i) 観測

・観測機材 デジタル一眼レフカメラ (Nikon D5300 + AF-S NIKKOR 55-200mm φ52mm)
(撮影時の設定)

SS: 当日の明るさに応じて画像の明るさが変わらないように適宜使い分け
絞り: F6.3 / ISO 感度: 160 ※ / 露出: 0.0

※冬季に SS が遅くなることにより画像にブレが生じるため、必要に応じて ISO 感度を調節

- ・観測場所 東京都江戸川区(自宅のベランダ)
- ・観測期間 2022年7月15日～2023年12月3日(複数回欠測有り)
- ・観測時間 毎朝7時頃
- ・観測目標物 自宅から見通す事が出来る15箇所を観測の目標として設定した(図2)
- ・視程判定基準 目標物を見た際の色味や輪郭の様子などから主観的に分類した5段階の基準を図3のような表に起こし、画像や言語化した指標を基に各目標物が観測された際の空気の透明度を判定した。「霞度合い」の1～3を視認可、4,5を視認不可と定める。視程とは、その日に視認できた観測地点から最も遠い目標物までの距離を指す。

(ii)分析

- ・分析期間 2023寒候年(2022年8月1日～2023年7月31日)
- ・使用したデータ※1 気象データ:気温、相対湿度、天候、風向・風速など(気象庁)
気象データ:天気図、衛星画像など(日本気象協会)
気象データ:絶対湿度(算出) ※2
大気汚染物質データ:SPM、PM2.5など(環境省)

※1 分析には日別値と特別値の両方を用い、特別値は午前7時のものを使用

※2 (算出方法)

①絶対湿度を導く: (平均気温)+273.15 (°C)

②絶対湿度を導く: $e=(\text{平均水蒸気圧}), T=(\text{①で導いた値})$ とおくと、次の式(1)により導くことができる。

$$1000 \times 0.127 \times \frac{e}{T} \quad (1)$$

観測目標物 距離表		
1	葛西臨海公園 ダイヤと花の大観覧車	約1.0km
2	東京湾ゲートブリッジ	約5.0km
3	東京港連絡橋(レインボーブリッジ)	約10km
4	ENEOS川崎製油所400号地 煙突	約20km
5	東京湾アクアライン 海ほたるPA	約20km
6	木更津かんらんしゃパーク 大観覧車	約25km
7	横浜ランドマークタワー	約30km
8	JERA 富津火力発電所 煙突	約40km
9	防衛大学校 時計台	約45km
10	JERA 横須賀火力発電所 煙突	約50km
11	大山	約60km
12	丹沢山	約65km
13	富士山	約110km
14	伊豆半島 天城山(万三郎岳)	約120km
15	南アルプス 塩見岳	約150km

図2 観測目標とする構造物・地形

観度合い	1<透明度が高い>(視認可)	2<透明度は標準的>(視認可)	3<透明度がやや低い>(視認可)	4<透明度が低い>(視認不可)	5<視認不可>(視認不可)
目標物					
海ほたる	<ul style="list-style-type: none"> ・霞による白濁がなく、コントラストがはっきりと感じ取れることこの上ない ・建造物の構造の視認が容易である ・輪郭が鮮明で背景との区別が容易である 	<ul style="list-style-type: none"> ・霞によって白んで見えるものの、色の濃淡は感じられる ・建造物の構造の視認が容易である ・輪郭が鮮明で背景との区別が容易である 	<ul style="list-style-type: none"> ・霞によって白んで見える ・建造物の柱など細かい構造は認識できないが、大体の構造の視認は可能である ・輪郭が鮮明で背景との区別が容易である 	<ul style="list-style-type: none"> ・霞によって影がぼんやりと見える ・建造物の構造は認識できない ・輪郭が不鮮明で大部分が背景と同化している 	<ul style="list-style-type: none"> ・霞によって認識できない
横浜ランドマークタワー(296m)					
	<ul style="list-style-type: none"> ・霞による白濁がなく、コントラストがはっきりと感じ取れることこの上ない ・建造物の構造の視認が容易である ・輪郭が鮮明で背景との区別が容易である 	<ul style="list-style-type: none"> ・霞によって白んで見えるものの、色の濃淡は感じられる ・建造物の構造の視認が容易である ・輪郭が鮮明で背景との区別が容易である 	<ul style="list-style-type: none"> ・霞によって白んで見える ・建造物の柱など細かい構造は認識できないが、大体の構造の視認は可能である ・輪郭が鮮明で背景との区別が容易である 	<ul style="list-style-type: none"> ・霞によって影がぼんやりと見える ・建造物の構造は認識できない ・輪郭が不鮮明で大部分が背景と同化している 	<ul style="list-style-type: none"> ・霞によって認識できない
富士山(3776m)					
	<ul style="list-style-type: none"> ・霞による白濁がない ・山肌の様子が認識できる ・山頂付近の積雪が確認できる ・山体と背景の区別が容易である 	<ul style="list-style-type: none"> ・霞によって山体が白んで見える ・山肌の様子が認識できる ・山頂付近の積雪が認識できる ・山体と背景の区別が容易である 	<ul style="list-style-type: none"> ・霞によって山体が白っぽく見える ・山肌の様子が認識できない ・山頂付近の積雪の様子が認識できる ・山体と背景の区別が容易である 	<ul style="list-style-type: none"> ・霞によって山体が白っぽく見える ・山肌の様子が認識できない ・山頂付近の積雪の様子が認識できない ・輪郭が不鮮明で山体と背景が同化してしまい、区別が困難である 	<ul style="list-style-type: none"> ・霞によって山体が認識できない
伊豆半島天城山(1406m)					
	<ul style="list-style-type: none"> ・霞による白濁がない ・山肌の様子が認識できる ・山頂付近の積雪が確認できる ・山体と背景の区別が容易である 	<ul style="list-style-type: none"> ・霞によって山体が白んで見える ・山肌の様子が認識できる ・山頂付近の積雪が認識できる ・山体と背景の区別が容易である 	<ul style="list-style-type: none"> ・霞によって山体が白っぽく見える ・山肌の様子が認識できない ・山頂付近の積雪の様子が認識できる ・山体と背景の区別が容易である 	<ul style="list-style-type: none"> ・霞によって山体が白っぽく見える ・山肌の様子が認識できない ・山頂付近の積雪の様子が認識できない ・輪郭が不鮮明で山体と背景が同化してしまい、区別が困難である 	<ul style="list-style-type: none"> ・霞によって山体が認識できない
南アルプス塩見岳(3052m)					
	<ul style="list-style-type: none"> ・霞による白濁がない ・山肌の様子が認識できる ・山頂付近の積雪が確認できる ・山体と背景の区別が容易である 	<ul style="list-style-type: none"> ・霞によって山体が白んで見える ・山肌の様子が認識できる ・山頂付近の積雪が認識できる ・山体と背景の区別が容易である 	<ul style="list-style-type: none"> ・霞によって山体が白っぽく見える ・山肌の様子が認識できない ・山頂付近の積雪の様子が認識できる ・山体と背景の区別が容易である 	<ul style="list-style-type: none"> ・霞によって山体が白っぽく見える ・山肌の様子が認識できない ・山頂付近の積雪の様子が認識できない ・輪郭が不鮮明で山体と背景が同化してしまい、区別が困難である 	<ul style="list-style-type: none"> ・霞によって山体が認識できない

図3 視程の判定基準

IV. 結果・分析

(i) 分析に関わる諸条件の特徴

イ) 相対湿度

どの期間でも一定の上下幅(約 20%)を保ちながら、9 月頃に最も高い水準となり、1 月頃に最も低い水準となる。(図 4)

ロ) 絶対湿度

気温の変動と同様に 1 月頃に最も低い水準となり、7~8 月頃に最も高い水準となる。(図 5)

ハ) SPM 濃度

大凡一定の値の上下幅(約 $0.02\text{mg}/\text{m}^3$)と水準を保ちながら、1 月頃に普段よりやや水準が落ち込む。(図 6)

(ii) 気象要素に関する分析

これまでの分析で扱ってきた気象要素は、日平均気温、日平均風速、日最多風向、日平均相対湿度、天気概況(昼、夜)(いずれも気象庁より)、絶対湿度であった。そして、この中では特に相対湿度が視程との相関関係を示した。

ここで、更に条件を絞るために観測日当日を「快晴」「晴」とした場合のみに限って分析を行った。また、その中でも前日の天候を「快晴」・「晴」、「曇」、「雨」の場合に分類し各分析に於ける条件の統一を図った上で、その関係を散布図に表した。

イ) 視程の変化と相対湿度

全体では弱い負の相関が見られた。観測地点からの距離が 100km 未満の目標物では相対湿度が低くなるほど視程が長くなる傾向があったが、100km 以遠の富士山や伊豆半島、塩見岳では 1 つの目標物の記録に対して横軸(湿度)方向のデータに幅があった。また、前日の天候によって分類したデータでは天候の如何によらず相対湿度と視程変化との間に負の相関関係が見られた。(図 7)

ロ) 視程の変化と絶対湿度

全体で相対湿度と比較して強い負の相関が見られた。観測地点から 100km 未満の目標物では絶対湿度と視程の変化の間に相関は

見られなかった。同様に 100km 以遠の目標物でも絶対湿度の変化によって視程が変化した様子は見られなかった。前日の天候別では、データ数が 3 と極端に少ない「雨」の場合を除いて天



図 4 相対湿度の年推移

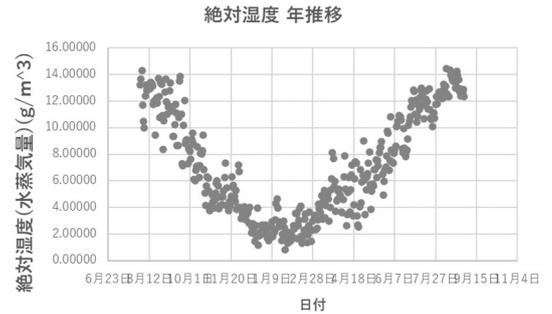


図 5 絶対湿度の年推移

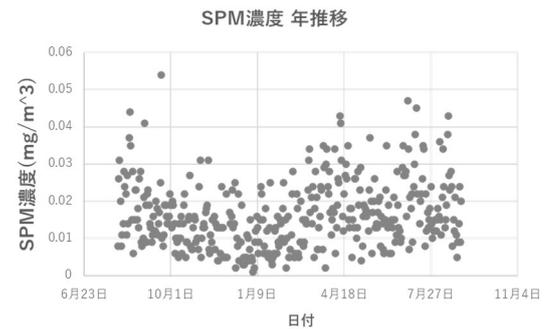


図 6 SPM 濃度の年推移

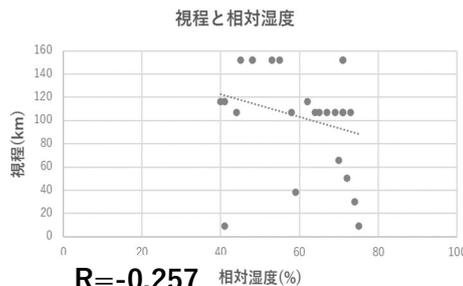


図 7 視程と相対湿度の関係

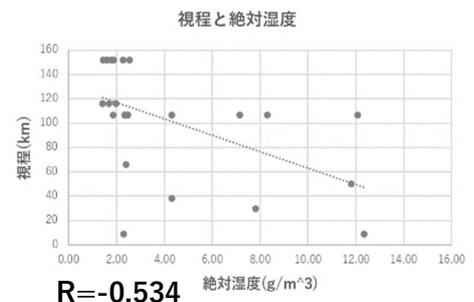


図 8 視程と絶対湿度の関係

候によって負の相関関係は変化しなかった。(図 8)

(iii)大気汚染物質に関する分析

前項の結果からは視程の変化の要因が何であるかを述べることは出来なさそうだ。そこで、気象要素以外の要因が視程の変化に関わっていると考えた。本項では SPM(浮遊粒子状物質)の大気中の濃度に注目して視程の変化との関係を見ていく。ここで SPM について扱う理由は、これまで視程と相対湿度の変化の関係を説明する際にエアロゾルの潮解性に言及してきたためである。加えて、環境省が公開する「そらまめくん」のデータに於いて視程の変化と最も有意な関係を示したためでもある。(分析に使用したデータはいずれも観測当日が「快晴」・「晴」であったものである。)

イ) 視程の変化と SPM 濃度

全体として強い負の相関が見られた(図 9)。相関係数は前日の天候が「快晴」・「晴」の場合で -0.805 であり、他の天候の場合も大凡 $-0.7 \sim -0.8$ の値をとった。また、各視程に対する SPM 濃度の散らばり具合もほぼ一様であった。そのため、両者の間には「SPM 濃度が減少すると視程が改善する」傾向があると考えられる。

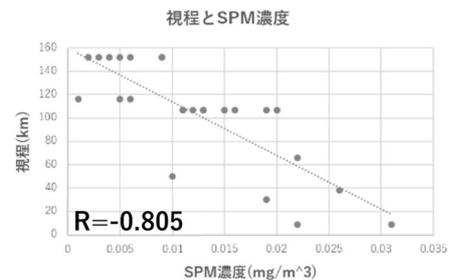


図 9 視程と SPM 濃度の関係 (前日「快晴」「晴れ」)

ロ) 相対湿度と SPM 濃度

日別値を用いると、前日の天候が「快晴」・「晴」、「曇」、「雨」のいずれの場合も正の相関を示した(図 10)。ここで、視程観測を行う午前 7 時頃の気象データを分析に使用すればより観測時の状況を反映したデータになるのではないかと考えて時別値を用いて調べたところ、前日の天候がいずれの場合も相関係数が日別値よりも小さくなった(図 10)。

・なぜ差が生じたのか

日別値と比較して時別値はその日の天候、気温、大気の状態によって様々に変化することが考えられる。一方で、日別値は一日に記録された値の中で均されるため、同じような気候であればある程度決まった値を取る。そのためこのような差が生じたと考えられる。

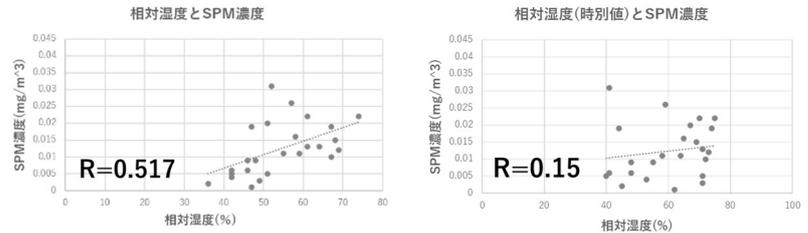


図 10 相対湿度と SPM 濃度の関係 (左:日別値、右:時別値)

(iv)空気の透明度に関する分析

この研究に於いて空気の透明度は、図 3 で示した視程の判断基準を基に定めた。ここでは、目標物を前項まで扱ってきた 15 種類から「海ほたる」「横浜ランドマークタワー」「富士山」「伊豆半島天城山」「塩見岳」の 5 種類に絞った上で、気象要素や大気汚染物質濃度との分析を行った。

これらの目標物は目標物の種類(人工的な構造物か、自然地形か)、目標物までの距離(100km 未満か、100km 以上か)、普段からの目標物の視認のしやすさなどの観点で選定を行った。

なお、視程の判定と同様、空気の透明度の判定も主観的な判断により行っていることを留意していただきたい。また、空気の透明度判定で用いる数字は図 3 で示した「霞度合い」を基にした数字であるため、絶対値が小さいほど空気が澄んでいることを表す。

加えて、便宜上この項以降では以下のような表現を用いる箇所がある。

(近): 富士山よりも近傍の目標物(100km 未満の目標物)

(遠): 富士山以遠の目標物(100km 以上)の目標物)

イ) 透明度と相対湿度

(近)と(遠)に共通して、相対湿度が高いときは空気の透明度が低くなる傾向が見られる(次頁図 11)が、プロットの分布が直線的ではないことからこれは決定的な要因とは言えないだろう。また、(遠)のうち伊豆や塩見岳に関

して「視認不可能」を表す“5”の透明度判定が、相対湿度が低いときでも多く表れていた。

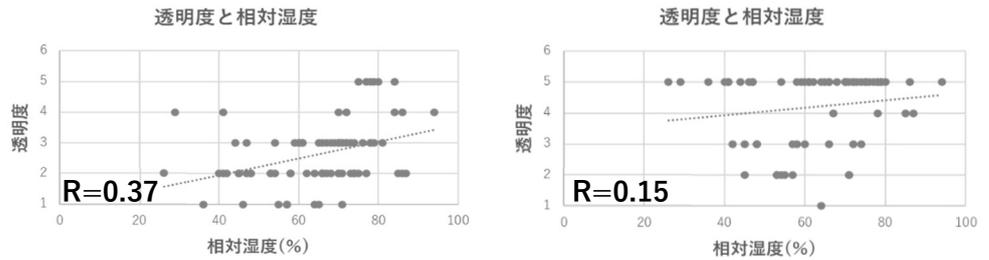


図 11 透明度と相対湿度の関係
(左:横浜ランドマークタワー、右:塩見岳)

ロ) 透明度とSPM濃度
(近)と(遠)に共通してSPM濃度が増加すると

空気の透明度も悪化する傾向がみられた。(近)に於いてプロットの分布は比較的直線的であり、各透明度の判定に対してSPM濃度を取る値の幅は一樣に散らばっていた。一方で(遠)ではSPM濃度が低くても空気の透明度が低くなる場合が多くあり、且つ全体として明瞭に視認された回数が少ないという特徴があった(図 12)。

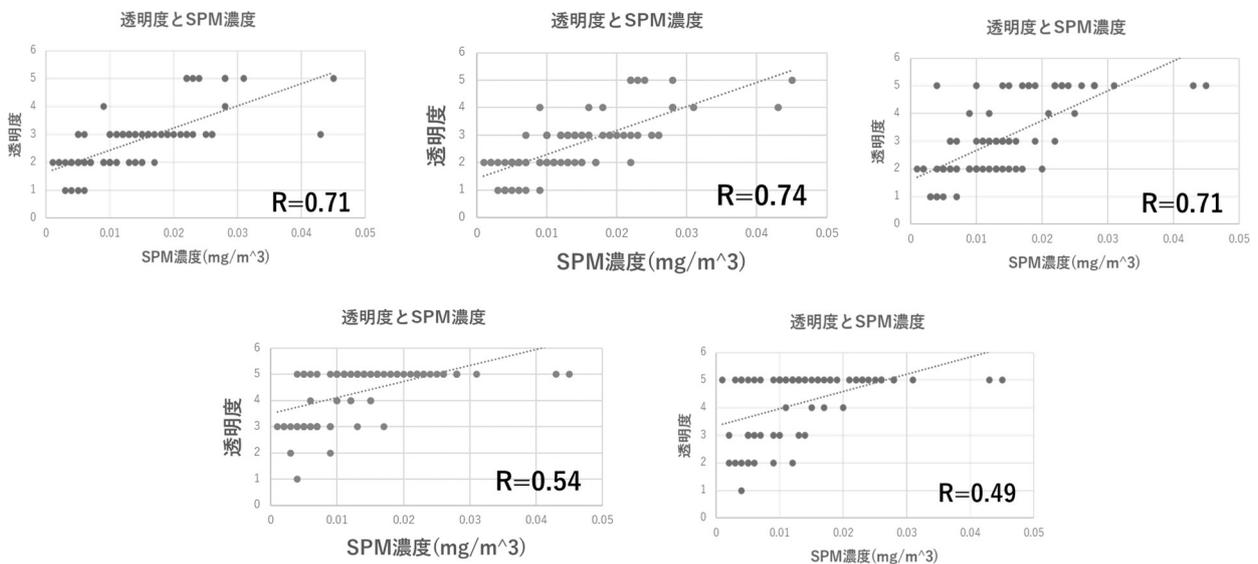


図 12 透明度とSPM濃度の関係
(上左:海ほたる、上中:横浜ランドマークタワー、上右:富士山
下左:伊豆半島天城山、下右:塩見岳)

ハ) 透明度と絶対湿度

(近)と(遠)どちらに於いても絶対湿度によって透明度が変化している様子は確認できなかった(図 13)。

ニ) 透明度と気温

絶対湿度と同様に(近)と(遠)どちらに於いても気温と透明度との間に変化を共にする関係は見られなかった(次頁図 14)。

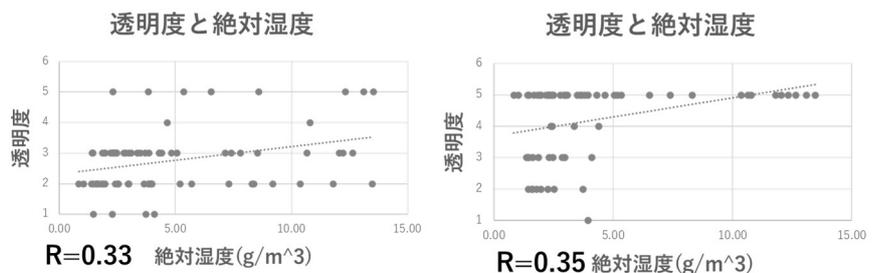


図 13 透明度と絶対湿度の関係
(左:海ほたる、右:塩見岳)

ホ) 透明度と視程

(近)では見通し距離が長いときほど空気の透明度が良い傾向が見られ、「視認不可」の時には視程が短いことが多かった。一方で、視程が短い際にも“2”や“3”と比較的透明度が高い判定の場合もあった。(遠)では目標物よりも視程が短い日はそもそも視認されず、視認されたときでも透明度の差異が出にくいことが分かった。また、(遠)の各目標物について見てみると、「富士山」が最も明瞭に観測されたのは富士山以遠の目標物が観測された時のみだった。「伊豆半島天城山」では、自身より遠くの目標物が視認されたときでも「視認不可」のデータがみられた。「塩見岳」は以遠の目標物がな

いため、視認されたのは“1”～“3”のいずれかの判定の時だった(図 15)。

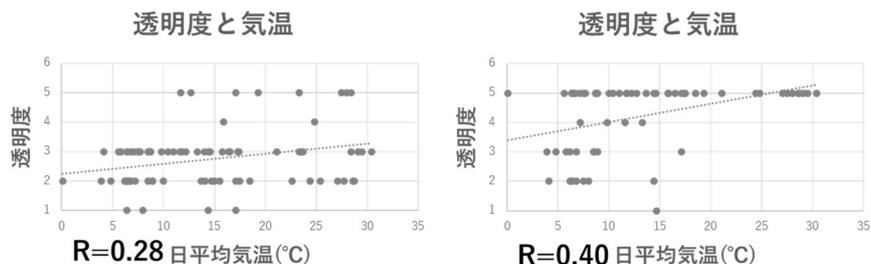


図 14 透明度と気温の関係
(左:海ほたる、右:塩見岳)

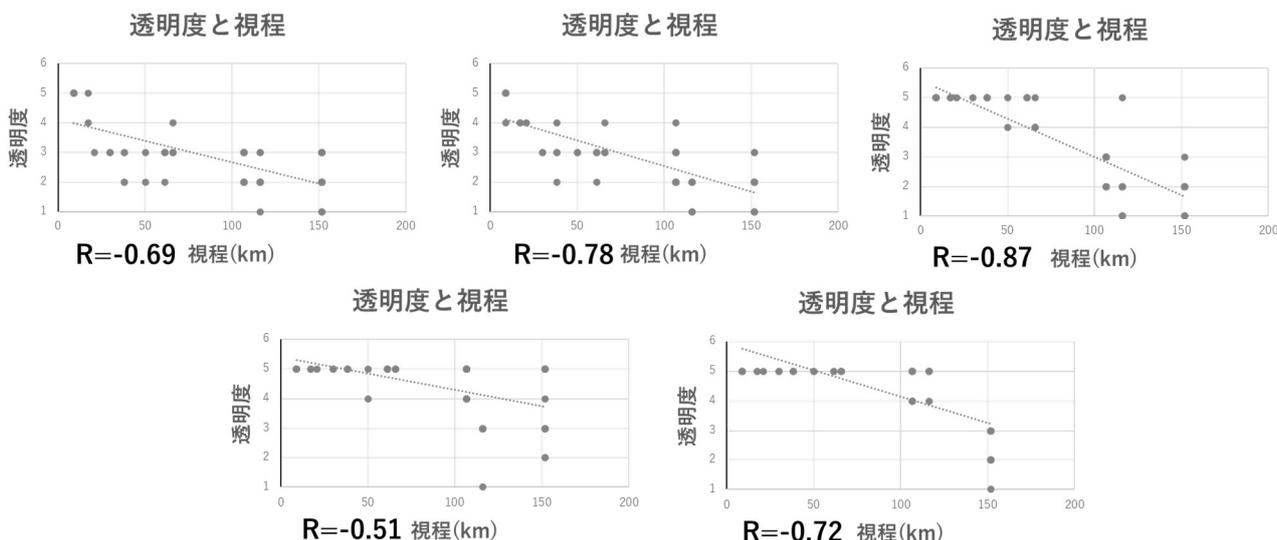


図 15 透明度と視程の変化の関係
(上左:海ほたる、上中:横浜ランドマークタワー、上右:富士山
下左:伊豆半島天城山、下右:塩見岳)

(iv)連続好天日数に関する分析

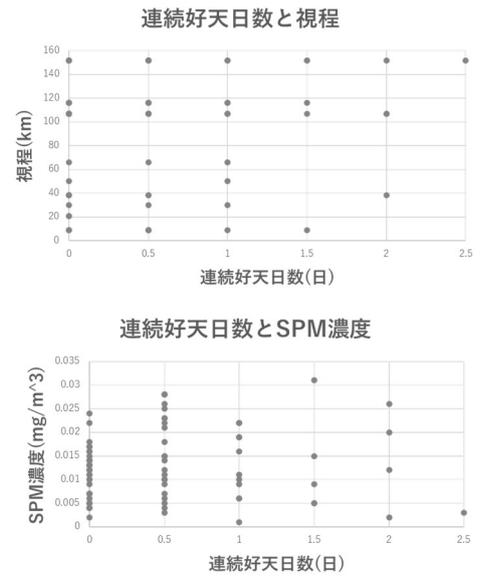
連続好天日数とは、視程観測当日までに「快晴」・「晴」がどれだけ継続したかを数えた日数である。この日数は一日単位と半日単位で数えた。経験上、晴れている日数が長くなるほど霞がより強くなるように感じていたので、その現象をデータとして明らかにしようと試みた。

イ) 連続好天日数と視程

自身の経験と反して経験日数が増えると観測される視程の下限がより良い方向に変化したことがデータからは読み取れる。しかし、1.5 日以上の範囲ではデータ数が少ないほか、この範囲の 10 個中 6 個のデータが冬季のものであることから、季節差による変化など、他条件の影響を受けたことも考えられる(次頁図 16)。

ロ) 連続好天日数とSPM濃度

好天日数の変化によってSPM濃度が増加する、或いは減少するといった傾向は見られなかった。最も好天日数が長く続いた時にはSPM濃度が $0.005\text{mg}/\text{m}^3$ 未満とかなり低いことが分かるが、これも先程と同様に冬季(12/25)であるから、連続好天日数だけでは判断が出来るとは言いきれない(図16)。



(vi) 観測時の好天(「快晴」・「晴」)が2日以上継続した場合に於いて、視程が見られた場合についての分析

ここまでの分析の中で

- SPM濃度が視程の変化と強い負の相関を持ち
- SPM濃度が相対湿度によって変化し
- 遠くの目標物ではそれ以外の要因も関係していそうだということが分かった。

ここからは、視程が改善された状況をより正確に捉えるために、観測時の好天が2日以上継続し、より後の日付で視程が改善した場合に限って天気図や衛星画像によって視程の変化の要因を推定することを試みた。ここでは要因を分けて2つの例を紹介する。

図16 連続好天日数と視程(上)、SPM濃度(下)の関係

イ) 2023.01.09~01.10 の例

状況: 9日は空気が白み、海ほたるもほぼシルエット(“3”)として観測され、天城山も完全に見えなかった。翌日には霞が解消され、海ほたるは建物の構造を、天城山は山の稜線を視認することが出来た(図17)。

気象: 9日夜から10日未明にかけて関東地方を寒冷前線が通過し、それに伴い降雨が観測された。(図18,19)

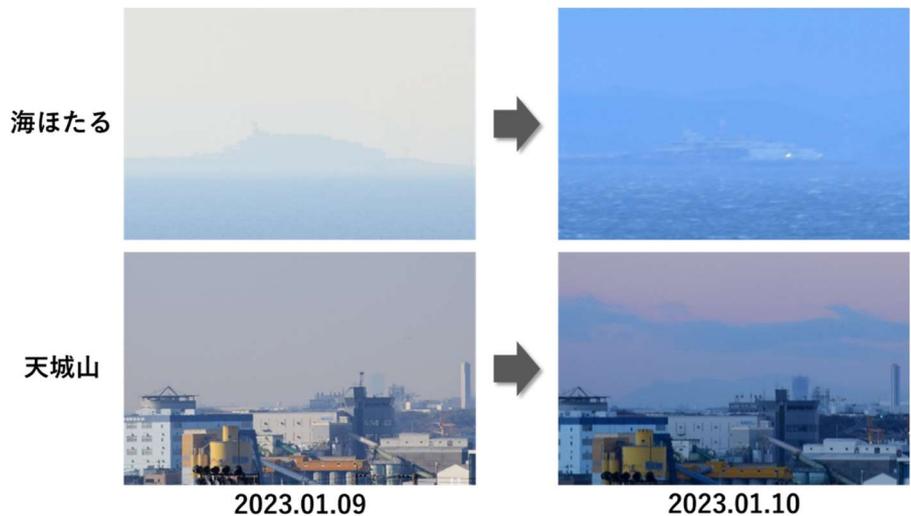
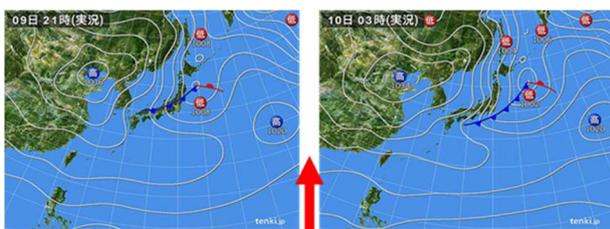


図17 2023.01.09~01.10での空気の透明度の改善

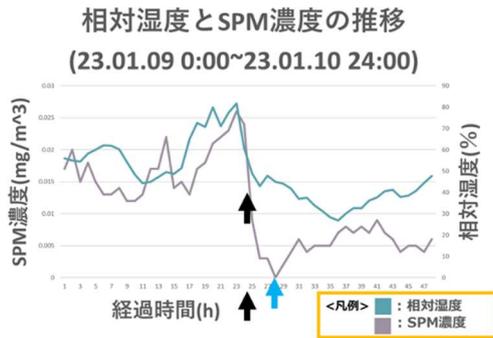


01.09 24:00頃に寒冷前線通過か?

図18 寒冷前線通過前後の天気図(tenki.jpより)



図19 10日未明4時~6時頃降水時の雨雲レーダー(tenki.jpより)



気象状況タイムライン
23.01.09 24:00頃 寒冷前線通過か？
23.01.10 4:00頃 東京に断続的な雨雲
23.01.10 6:00頃 雨が止んだ
23.01.10 7:00頃 水蒸気の濃い領域が抜けた

図 20 相対湿度と SPM 濃度の推移及び東京都に於ける気象状況の推移

これらの状況から、SPM すなわち大気の流れが降雨によって減少したと考えることができる。

つまり、9 日に顕著だった大気中の汚れが寒冷前線の通過に伴う降雨によって一掃され、空中の塵が一時的に少ない状態になった事によって 10 日朝には伊豆まで見通せる状態になったと考えることができる。

ロ) 2023.12.24~12.25 の例

状況：24 日は塩見岳付近に厚みのある雲があり、山が視認できなかった。翌 25 日は雲が無く塩見岳の様子を視認できた。(図 22)

気象：24 日は日本海側からの雨雲(雪雲)の張り出しが大きく(図 23)、長野県でも降雨・降雪が観測された。翌 25 日には雲の張り出しが弱まり、塩見岳から最も近傍の長野県飯田市の天候は朝が曇、昼前から晴となった。(図 24)

塩見岳

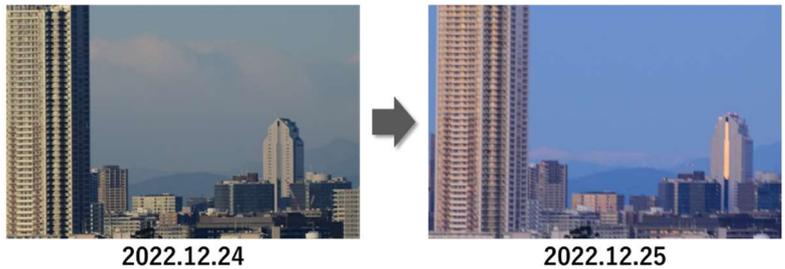


図 22 2022.12.24~12.25 での空気の透明度の改善

12月24日(土)							
3	6	9	12	15	18	21	24
雪	雪	雪	晴れ	晴れ	晴れ	曇り	曇り
12月25日(日)							
3	6	9	12	15	18	21	24
曇り	曇り	晴れ	晴れ	晴れ	曇り	曇り	曇り

図 24 24 日と 25 日の長野県飯田市の天候(tenki.jp より)

SPM: このときの SPM 濃度の変化に注目してみると、前線が通過し降水があった時間帯(図 20,水色矢印)に濃度が大きく減少していることが分かった(図 20)。このことは、「そらまめくん」江戸川区南葛西観測局以外の都内観測局(江戸川区鹿骨、国設新宿)や千葉県(千葉市役所自排)、神奈川県(神奈川県総合庁舎、鎌倉市役所)の観測局でも確認された(図 21)。

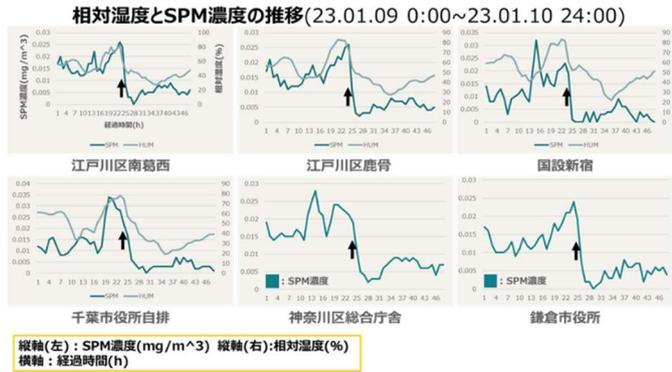


図 21 東京都、千葉県、神奈川県各局に於ける相対湿度と SPM 濃度の推移



図 23 24 日と 25 日の雨雲比較 (tenki.jp より)

これらの状況から、遠隔の目標物はその場所の天候が見え方に大きく影響することが考えられた。

V. 考察・結論

視程や空気の透明度の変化の主な要因は大気中の SPM 濃度である。SPM 濃度は湿度や天候によって変化し、特に降雨やそれに伴う空気の入替わりがあると大気中の SPM が一掃されることで濃度が大きく減少する。その一方で、目標物までの距離によっては目標物付近の天候の状態によって観測地点からの見え方が大きく変わることがあるため、全ての目標物について SPM 濃度との関係が断言できるわけではない。

そのため、今後の視程予測に繋げるためにはこれまでの個々の気象要素との傾向を把握することに加え、どの要素がどの程度視程の変化に影響を与えるか、という事を定量的に示していく必要があると考える。

VI. 今後の展望

気象やその他の要素と視程の変化の傾向把握を他の情報との組み合わせで考えたり、情報のバリエーションを増やしたりすることでより確実な関係性の把握に繋げたい。また、前項で述べたように、複数の要因のそれぞれがどのくらいの強さで視程の変化と関わっているかを、回帰分析などを用いて定量的に示し、視程の予測に繋げたい。

VII. 謝辞

この研究を行うにあたって数々の助言を下された国立研究開発法人防災科学技術研究所の鈴木様、出世様。また、本校地学科の鈴木先生、橋本先生にはこの場を借りて感謝を申し上げます。

引用文献

- 1) 岡田益己. 農業気象(J. Agr. Met.). 湿度および関係諸量の計算法. 1985, 40, 4, 407-409.
https://www.jstage.jst.go.jp/article/agrmet1943/40/4/40_4_407/_pdf, (参照 2023-08-08)
- 2) 上田紗也子. 三浦和彦. 都心における大気エアロゾル粒子の湿度特性の季節変化. 大気環境学会誌. 2007, 第 42 巻, 第 6 号, p.339-349. https://www.jstage.jst.go.jp/article/taiki1995/42/6/42_6_339/_pdf, (参照 2023-03-22)

参考文献

- ・上田紗也子. 三浦和彦. 都心における大気エアロゾル粒子の湿度特性の季節変化. 大気環境学会誌. 2007, 第 42 巻, 第 6 号, p.339-349. https://www.jstage.jst.go.jp/article/taiki1995/42/6/42_6_339/_pdf, (参照 2023-03-22)
- ・岡田益己. 農業気象 (J. Agr. Met.). 湿度および関係諸量の計算法. 1985, 40, 4, 407-409. https://www.jstage.jst.go.jp/article/agrmet1943/40/4/40_4_407/_pdf, (参照 2023-08-08)
- ・環境省. “SPM とオキシダントの生成メカニズム”. 環境省. <https://www.env.go.jp/content/000049544.pdf>, (参照 2023-10-25)
- ・環境省大気汚染物質広域監視システム そらまめくん
- ・気象庁HP
- ・気象庁. “気象観測の手引き”. 気象庁. https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/kansoku_guide/tebiki.pdf, (参照 2023-02-02)
- ・田口小桃: “立川高校における 50 年間の視程の変化と戦後の大気汚染について”. 日本気象学会, 2019-05.
- ・日本気象協会 HP tenki.jp
- ・安原拓未: “立川高校における視程について”. 日本気象学会, 2021-05.