

IoT 百葉箱を活用した八ヶ岳麓における霧の発現観測

藤岡陽大*・杉本憲彦†

An Observational Study of the Fog Occurrence at the Base of Mt. Yatsugatake using IoT Stevenson Screen

Yodai Fujioka, Norihiko Sugimoto

Summary - We have conducted a study on the fog occurrence at the base of Mt. Yatsugatake by using data that had been accumulated through an IoT Stevenson screen. We have revealed that 1) the local fog occurrence at Mt. Yatsugatake is greatly influenced by seasons and time of the day, 2) the surrounding atmosphere and pressure patterns, 3) and most of the fog can be classified into a radiation fog, frontal fog, and upslope fog. It is also proved in this study that the local atmospheric phenomena can be analyzed remotely. Therefore, this type of studies will make a significant contribution to the recent tendency of growth in the remote learning.

Key Words: IoT Stevenson Screen, Mt. Yatsugatake, Fog, Radiation Fog, Frontal Fog, Upslope Fog

*慶應義塾大学法学部自然科学研究会（〒223-8521 横浜市港北区日吉 4-1-1）：
Department of Natural Science, Faculty of Law, Keio University, 4-1-1, Hiyoshi, Kohoku,
Yokohama, 223-8521, Japan. E-mail: fyodai0408@keio.jp

† 慶應義塾大学法学部日吉物理学教室（〒223-8521 横浜市港北区日吉 4-1-1）：
Department of Physics, Faculty of Law, Keio University, 4-1-1, Hiyoshi, Kohoku,
Yokohama, 223-8521, Japan. E-mail: nori@a2.keio.jp [Received Feb. 3, 2021]

1.はじめに

近年インターネットの高速化により、遠隔地からのリアルタイム授業が増加している。教育のIT化は高等教育に限らず、小・中学校においてもタブレット端末などのIT機器の活用により、遠隔地で起きている事象を生徒がリアルタイムで把握することが可能となってきた。この傾向は気象学の教育にも引き継がれている。株式会社内田洋行では2017年にインテル株式会社と合同で「IoT百葉箱」を開発した¹⁾。このIoT百葉箱では全国各地に設置された百葉箱の気象データと連携したカメラ画像をリアルタイムで見ることができ、地域間の比較や同じ地点で過去との比較をすることも可能だ。またこの機器では気温、湿度、気圧の関係性を視覚的に捉えることができるため、生徒の気象学への理解を促進することができると思込まれる。

本研究の対象地域には、八ヶ岳を選んだ。筆頭著者の藤岡は幼少期を長野県松本市で過ごし八ヶ岳は常に身近な存在であったため、学生研究としてその地域に携わってみたいという思いがあったからだ。また当地域での霧の研究では霧ヶ峰に焦点が当てられていることが多く²⁾、八ヶ岳主稜を対象とした研究はされていないため、本研究の対象とする意義があると考えた。

本研究の目的は二つある。まず一つ目は、八ヶ岳麓の霧の発現特性の解明だ。本研究で使用したIoT百葉箱は、信州八ヶ岳麓にある藤沢市八ヶ岳野外体験教室³⁾に設置されている。本施設では地域の小中学生児童を対象に多様な野外体験を提供しており、気象を正確に把握し野外活動の安全性を向上させる目的でIoT百葉箱を導入した。しかしデータの解析は十分に行われておらず、当施設の職員の方々も機器を活かしきれていないと感じておられた。そこで本研究を通して八ヶ岳麓の霧の特徴を明らかにし、施設利用者が霧の発生していない日を予測し、施設利用を検討できるための情報提供を目指すことにした。二つ目の目的は、遠隔地の局地的な気象を調べる上でのIoT百葉箱の有用性の検証である。調査に使用したデータは、IoT百葉箱から得たものと気象庁発表の天気図のみである。離れた地を訪れずとも、その地域の局地的気象を研究できることの証明は、教育の幅を広げることに寄与するであろう。

2. 研究の方法

2-1 調査地域

ハヶ岳の麓に位置する藤沢市ハヶ岳野外体験教室（標高 1500m）に設置された IoT 百葉箱を使い、遠隔地からの気象観測を実施した。当施設は長野県の東部、南佐久郡南牧村にあり、西側にあるハヶ岳に加え、南に横尾岳、東を御座山に囲まれた盆地である（図 1）。年平均気温は 6.9℃、年間降水量は 1439.9 mm である⁴⁾。



図 1：観測地点周辺の地形（Google Map）

2-2 データの収集

観測に使用したカメラは観測地点から西を向いて設置されており、標高 2,899m の赤岳と 2,829m の横岳を眺望できる(図 2)。調査期間は 2019 年 12 月 1 日から 2020 年 11 月 30 日の計 366 日間(うるう年)であり、霧の発現に関しては記録画像をもとに一時間ごとに観測した。気象庁が定義する霧の状態は、「微小な浮遊水滴により視程が 1 km 未満の状態」である⁵⁾。そのため、図 3 の矢印で記した観測地点から 1 k m 先にある山の稜線が見えなくなったとき、「霧が発現した」と定義づけた。



図2：野外体験教室でのカメラの設置状況

他にも IoT 百葉箱から、気圧・相対湿度・気温・風向・風速を 5 分ごとに観測したデータを収集した。また、百葉箱のほかに気象庁発表の天気図を活用し、気圧配置と霧の関係性を調べた。



図 3 : IoT 百葉箱と連携したカメラで記録した画像

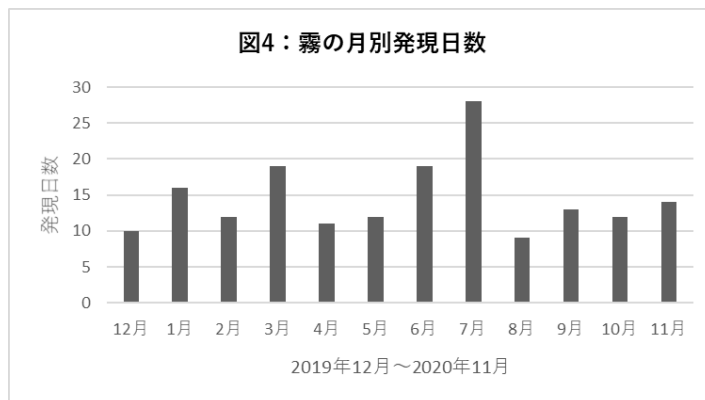
3. 結果の分析

3-1 霧の発現日数

得られた画像データを基に霧の発現を確認した結果、366日のうち霧が発生したのは175日（48%）であり、基準となる山の稜線が隠れなかった日数は191日（52%）だった。霧が発現した日数を月別に集計したところ季節性が明瞭に表れた（図4）。全体的な特徴として、6月と7月の梅雨の時期に多く霧が見られ（60%以上の確率で発現）、秋から冬にかけては発現日数が少なくなっている（50%以下）。

最も多く霧が発現したのは7月である（90%）。長野県中央に位置する霧ヶ峰で2006

年、2007年、2009年に行われた観測でも、同様に7月に最も多く霧が発現していた²⁾。これには7月が梅雨であり、前線が通過することが影響していると考えられる。また本年は特に梅雨が6月11日から8月1日と平年より8日も長く続いたため⁶⁾、より強く影響を受けていることが予測される。



3-2 霧と湿度の関係

前項で指摘したように、霧の発現には季節性が見られた。この背景には、月別の大気中の水蒸気量が影響していると考えられる⁷⁾。なぜなら霧は大気温度が下がり露点に達することで現れるからだ。これを確かめるために相対湿度と霧の発現時間の関係性について調べた。

今回のカメラによる定点観測の記録では夜間の霧発現について観測することは出来ない。そのため観測できた時間帯は日の出から日の入りまでである。まず、霧ヶ峰を対象に霧の研究をした細田・田口が使用した分類型²⁾を参考に、この時間帯の霧の発現を以下のような八つの型に分類して霧発現の在り方を分析することにした。

〈霧無し型〉：霧が発生しない

〈朝型〉：日の出から霧は出現し（それ以前は不明）、10時以前に消える

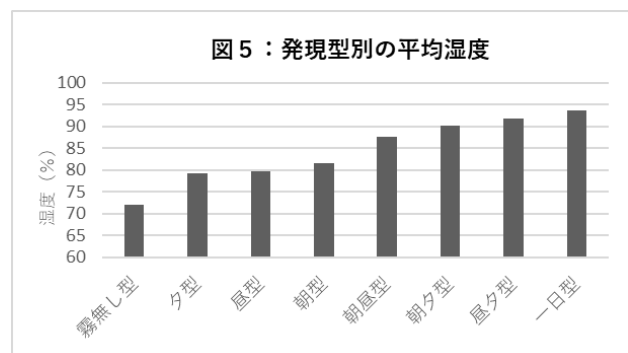
〈昼型〉：10時から16時の間に出現

〈朝昼型〉：朝と昼に継続して出現

〈夕型〉：16時から日の入りの間に出現

〈朝夕型〉：朝と夕方に分かれて出現

〈昼夕型〉：昼と夕方に継続して出現



〈一日型〉：一日中継続して霧が出ている

年間日数を上記の型に分類し、それぞれ相対湿度の平均を取ると、図5のような結果になった。霧無し型の際の湿度は72%と最も低く、一日型の湿度が93%と一番高い。また比較的短い時間だけ発現する朝型・昼型・夕型の相対湿度はほぼ80%で均一になり、87%を超える朝昼型・朝夕型・昼夕型と比べると6ポイント以上低い結果となった。以上のことから、相対湿度が高いほど八ヶ岳麓における霧の発現時間は長くなることを確かめることができた。

3-3 霧の発現型と気圧配置の関係

2019年12月から2020年11月にかけての気象庁発表の毎朝9時の天気図から、細田・田口が使用した分類法を参考に²⁾甲信越地方の気圧配置を以下のように分類した。

H：高気圧型 高気圧にこの地域が覆われている

L：低気圧型 低気圧にこの地域が覆われている

F：前線型 前線がこの地域に掛かっている

FF：前線前面型 前線がこの地域に近づいてきている

RF：前線後面型 前線がこの地域から遠ざかっていっている

W：冬型 西高東低の気圧配置

N：北前線型 この地域の北側に低気圧や前線が存在している

S：南前線型 この地域の南側に低気圧や前線が存在している

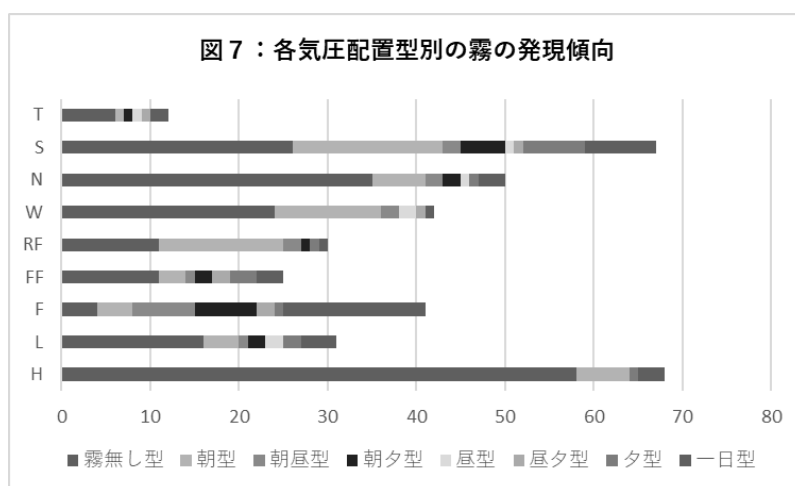
T：台風型 この地域の周辺に台風が接近している

このように366日間の気圧配置を分類し、それと霧の出現型を組み合わせ整理した（表6）。図7にその結果を図示する。

表6：霧の出現型と気圧配置型の関係

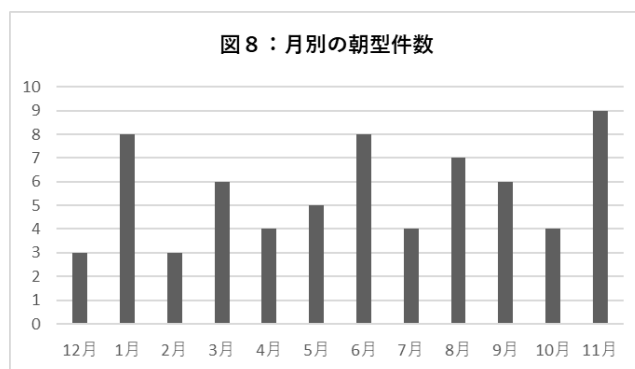
霧の出現型\気圧配置	H	L	F	FF	RF	W	N	S	T	合計
霧無し型	58	16	4	11	11	24	35	26	6	191
朝型	6	4	4	3	14	12	6	17	1	67
朝昼型	0	1	7	1	2	2	2	2	0	17
朝夕型	0	2	7	2	1	0	2	5	1	20
昼型	0	2	0	0	0	2	1	1	1	7
昼夕型	0	0	2	2	0	1	0	1	1	7
夕型	1	2	1	3	1	0	1	7	0	16
一日型	3	4	16	3	1	1	3	8	2	41
合計	68	31	41	25	30	42	50	67	12	366

一年で最も多く見られた気圧配置型は高気圧型で68日だった。高気圧型の日は約8割の確率で霧が発現しなかったが、霧が出ている際は朝型が多い結果となり、放射冷却による霧の発生が示唆される。一方で低気圧型の日では5割の確率で霧が発現した。しかしその発現時間にはばらつきが見られ、雨が降っていた場合も霧となる可能性がある。南前線型・冬型・前線後面型では高い確率で霧が発現し、その多くが朝型となった。この気圧配置の型では、天候が晴れる場合が多いため、朝型が出ている場合の多くは放射冷却が原因だと考えられる。北前線型では7割の日が霧無し型となっているが、その場合は観測地点からかなり低気圧が離れており天候に影響を与えていないときであると推測する。また前線型では約9割、前線前面型では約6割で霧が発現することから、前線が霧の発現に与える影響が大きいことが予測される。特に、前線がこの地域を覆っている場合は4割の確率で一日中霧が出ているという結果になった。台風が接近している際には約半分の確率で霧が発現している。



3-4 霧の発現メカニズム（1）：放射霧

上記の霧発現型と気圧配置型の組み合わせの関係において、特徴的な霧の発現傾向で、霧がどのようにして発現しているのかを分析する。南前線型・冬型・高気圧型では霧が発現している日数のうちの多くが朝型となっている。朝型の霧の発現要因を調べるために、まず朝型の霧の発生回数を月別に示した（図8）。この結果から1月、6月、11月に朝型の霧が多く発生することが分かった。その中で気候条件が似ている1月と11月の朝型の日の気温の変動を調べた。



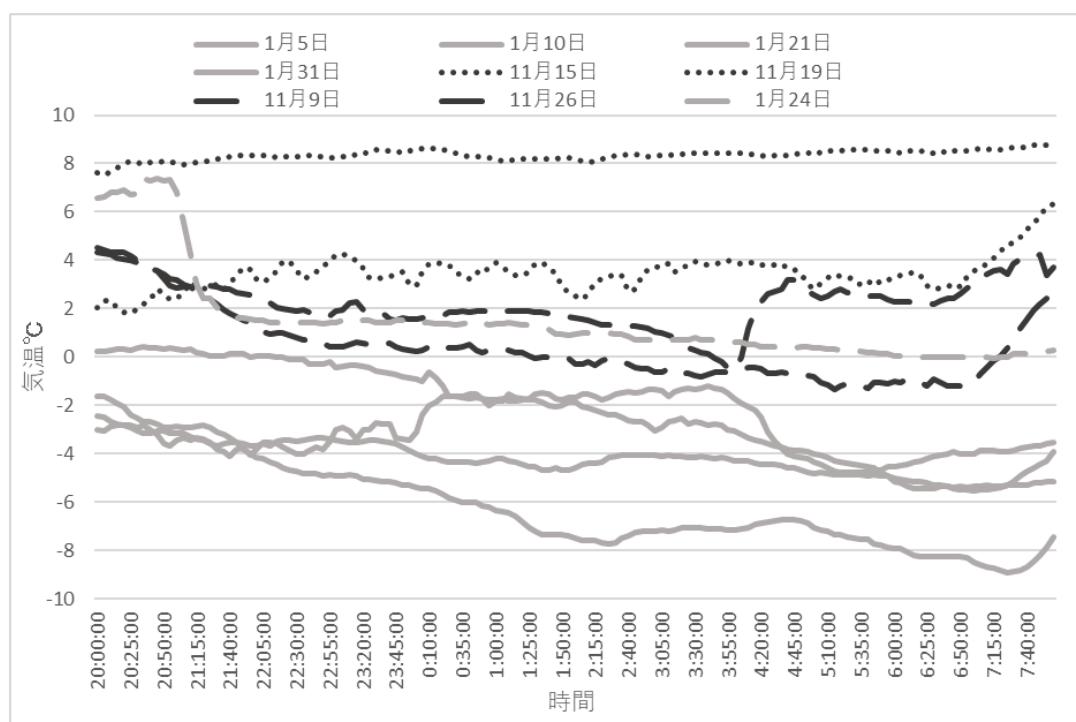


図9：南前線型、冬型、高気圧型の夜間の気温変化

図9は、冬型（1月5日、1月10日、1月21日、1月31日：実線）と高気圧型（11月15日、11月19日：点線）と南前線型（11月9日、11月26日、1月24日：破線）に分類された朝型の日の夜間の気温変動を、それぞれ前日の20時から当日の朝8時までの12時間記録したグラフである。南前線型と冬型の日は全体の傾向として夜から明け方にかけて気温が低下していることがわかる。こうした夜間の気温低下を霧発現の原因とみた場合、それは放射霧と推測することができる。放射霧の発生メカニズムは、まず放射冷却によって地面が冷えることから始まる。明け方になり地表面近くの空気の温度が下がると、飽和水蒸気量も下がるため水蒸気が凝結して霧が発生する⁸⁾。また雲がかかっていない夜に放射冷却は促進されるため、晴れの日が多く気温が明け方にかけて下がる南前線型と冬型の朝型霧は放射霧である可能性が高いと考えられる。一方で、高気圧型の日も晴れが多いため放射冷却が促進されると思われるが、図9より夜間の気温低下は全く見られなかった。高気圧型の日の朝型霧の発生要因は、今回の解析では解明できなかった。

3-4 霧の発現メカニズム（2）：前線霧

表6、図7を参照すると、観測地点周辺に前線がかかった場合には9割の確率で霧が発現しており、他の気圧配置型の場合よりも発現時間が長くなっていることがわかる。上空に前線がかかると前面上の暖気と前面下の寒気で温度差が生じる。そして前線上に生じた降雨が前面下の寒気の中に入ると水蒸気量が飽和するため、霧が発現する⁹⁾。この現象は

前線霧と呼ばれており、八ヶ岳麓の観測地点においても頻繁に起こっていることがわかる。以下の図 10 に前線が接近してから東の海上に抜けるまで霧の変化を追った代表例を示した。

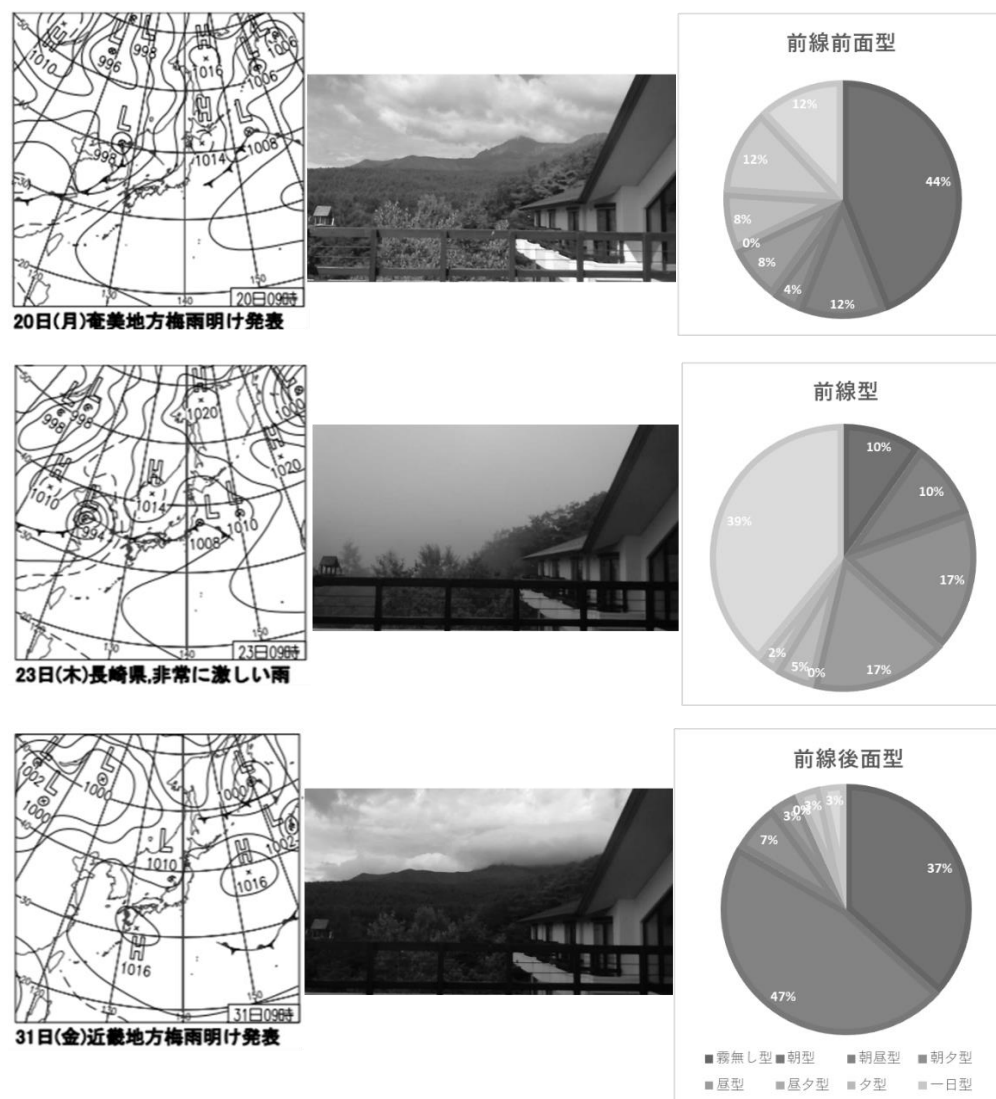


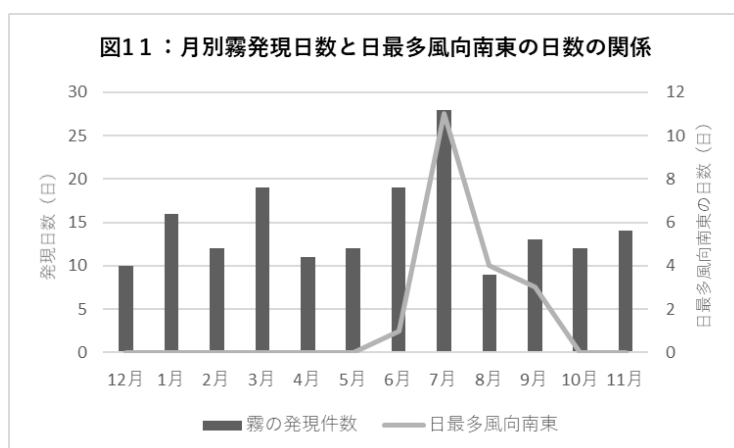
図 10：7 月 20 日・23 日・31 日の天気図、カメラ画像から見る霧の発現状況、前線通過の各段階における発現型の割合

天気図より、7 月 20 日に西から進行してきた梅雨前線は 23 日に観測地点上空に停滞する。その時期のカメラ画像を確認すると、20 日から 23 日にかけて濃い霧が八ヶ岳麓に掛かっていることわかる。前線前面型と前線型の時に現れる発現型を比較しても、前線接近と共に霧の発現時間が長くなっていることが分析できる。23 日から 31 日にかけて、梅雨前線は東へと去っていく。前線の解消により濃くかかっていた霧は晴れ、31 日には青空を

観かせている。前線型と前線後面型を比較すると、後者では霧が全くでない確率が前者のそれの3倍を超えており、霧が出て朝型が多いようにその発現時間は極端に短くなっている。このように7月20日～31日の前線の動向を観測すると、観測地点の霧の動きが上空の前線の動きと連動していることが確かめられた。図4の月別の霧の発生日数で7月が最も高い数字を示しているのも、観測地域に多く梅雨前線がかかる時期であることが理由の一つと考えられる。

3-4 霧の発現メカニズム（3）：滑昇霧

年間を通して7月に最も霧が発現した理由には前線の影響のほかに、風向も影響していると考えられる。山岳地帯で発生する霧は湿った空気が斜面を上昇することによって生じる滑昇霧であることが多い。低気圧が近づいてくることで風が吹き、この風が斜面を上昇するときに気温が下がって水蒸気が凝結し、霧粒を形成するためである。これは山越えの風が上昇による断熱膨張で冷え、それによって雲が生じる原理と同じである¹⁰⁾。本調査においてカメラ画像が映し出している赤岳の斜面は南東方向に広がっているため、南東方向からの風と霧の発現には強い関係性があると考えられる。両者の関係を図11に示した。



日最多風向が南東の日は12月から5月、10月、11月には観測されなかったものの、6月から9月の夏季に多く見られた。7月には11日と年間で最大の数字を残している。このように、南東からの風が最も多く吹いた月と霧が最も長い時間発現した月が一致するという結果となっている。

いる。そのため霧と風向には強い関係性があり、7月に霧がよく発生するのは前線霧と滑昇霧が共に発生する月であるからといった説明が可能であろう。

南東の風が入りやすい気圧配置型として北前線型が挙げられる。観測地域の北側に前線及び低気圧が位置するとその中心に向かって南側から風が入り込んでいくためである。そのため北前線型に分類された日には霧が出ることが予測されるが、年間を通したデータを見ると北前線型の日で霧が出る確率はわずか30%であった(表6)。観測地域の北側に前線や低気圧が位置していても滑昇霧が発生しない理由は二つの場合に分けて考えられる。第一に、前線や低気圧が遠距離にありすぎて観測地点周辺の気候にあまり影響を及ぼさない場合である。そして第二に、近い位置に低気圧が存在していても、南岸低気圧が存在す

るせいで南側から風が送り込まれない場合だ。例えば、気圧配置型が北前線型に分類された7月10日は南東方向に高気圧が位置するため（図12左）、低気圧との気圧差から湿った風が入り込むこととなる。実際にこの日の平均湿度は97.9%と7月全体の平均湿度94%を超え霧が出やすい環境となっている。一方、7月21日も北前線型とは分類したものの（図12右）、霧は発現していない。天気図を参照すると南側にも低気圧が発生しているため南東側からの風を得られていないことがわかる。この日の平均湿度は89%であり、月平均を大幅に下回っている。このように、滑昇霧が発生するためには気圧差、すなわち南東風を生むための気象条件が重要になると考えられる。

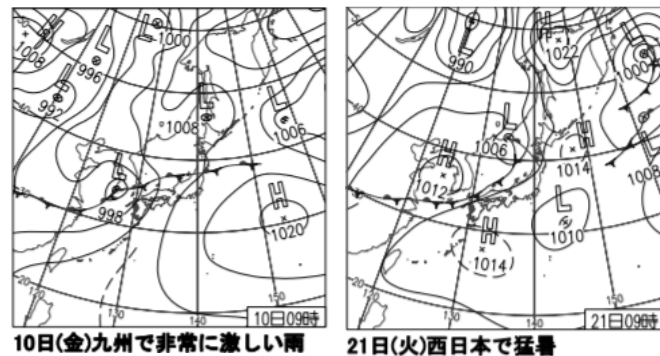


図12：7月10日・21日の天気図

4. 結論

2019年12月から2020年11月にかけて信州八ヶ岳麓に位置する藤沢市八ヶ岳野外体験教室のIoT百葉箱のデータを解析した結果、八ヶ岳麓の霧の発現に関して得られた事柄を要約する。

(1) 霧は季節や時刻によって発現頻度の特性がある。

年間を通じて6月7月の梅雨の期間に集中して霧が発現していた一方、梅雨明けの8月から冬季にかけては発現回数が少なかった。また霧が発現している時間帯は明け方がもっとも多く、夜間の気温低下がその原因の一つであった。次に多いのは一日中霧が出ている一日型であり、特に梅雨の時期に現れていた。

(2) 霧は周辺大気の影響を大きく受けて発現する

観測地点の相対湿度が高ければ高いほど、一日の中で霧が出ている時間帯は長くなった。また中部地方の気圧配置と霧の発現にも強い関連性が見られ、高気圧がこの地域を覆っている場合は8割の確率で霧が出ないが、前線がかかっている場合は9割の確率で霧がでているなど気圧配置型の違いで大きな差が生まれていた。

(3) 観測された霧の多くは放射霧、前線霧、滑昇霧に分類できる

朝型の霧の多くが放射霧であることが考えられた。特に冬型と南前線型の場合、夜間の放射冷却により気温の低下が促進されていることがわかり、明け方に放射霧が発生していた。年間を通して最も発現日数が多かった7月の霧は、主に前線霧と滑昇霧に分けられ

る。前線霧については、前線通過前から通過後へのプロセスを各段階で天気図、カメラ画像、発現型の割合を比較した。その結果、前線が観測地点上空を通る時点と霧が濃くなる時点が一致しており、前線霧であること確認できた。また赤岳斜面が面している南東方向からの風が7月に集中している結果から、7月の霧の多さには滑昇霧も関連していることが分かった。滑昇霧が発生している日は相対的に湿度が高く、南の海上から湿った風が吹き込んでいることも確認できた。

本研究を通して八ヶ岳麓の霧の特性を発見することができたことから、IoT 百葉箱を使用することで、遠隔地からでも気象の研究を行えることが示せた。さらに、本研究で得られた霧の発生条件の知見は、野外体験教室を実施する際の指標としても使えるだろう。

5. 謝辞

本研究にあたり、慶應義塾大学法学部自然科学研究会で一年間共に勉強した福田由奈さん、山本世那さんに研究の実施に際してご助言いただきました。また観測地である藤沢市八ヶ岳野外体験教室の職員の方々のご協力をいただきました。記して謝意を表します。

6. 参考文献

- 1) 内田洋行. “IoT 百葉箱”. ウチダスクール・ウェブ・ジャパン.
<https://school.uchida.co.jp/index.cfm/23,0,61,318,html>. (参照 2021-02-03)
- 2) 細田浩, 田口信. 長野県霧ヶ峰高原における霧の発現. 法政地理. 2012. Vol.44. p.3-14.
- 3) 八ヶ岳高原ロッジ. “藤沢市八ヶ岳野外体験教室”. <http://fujisawa-yatsugatake.com/>. (参照 2021-02-03)
- 4) オープンデータビジネス研究会. “長野県佐久の気候”. 気温と雨量の統計.
<https://weather.time-j.net/Climate/Chart/saku>. (参照 2021-02-03)
- 5) 気象庁. “天気予報等で用いる用語”.
https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/yougo_hp/kori.html. (参照 2021-02-03)
- 6) 日本気象協会. “関東甲信の梅雨入りと梅雨明け 2020”. [tenki.jp](https://tenki.jp/rainy-season/9.html).
<https://tenki.jp/rainy-season/9.html>. (参照 2021-02-03)
- 7) 石井さやか, 佐藤典人. 日本の諸都市における霧発生日数の経年変化. 法政地理. 2012. Vol.44. p.15-30.
- 8) 水野国貴, 鳥羽妙, 太田岳史. 放射霧発生時の地上と大気における水蒸気輸送について. 水分・水資源学会総会・研究発表会. 2005. P.46.
- 9) 落合弘明. 前線霧による集団海難について. 航海. 公益社団法人日本航海学会. 1971年. Vol.34. p.6-14.
- 10) 杉本憲彦 (2015). 身近な風. 『風はなぜ吹くのか、どこからやってくるのか』 135-208, ベレ出版。