

災害をもたらす豪雨の発生条件に関する解析とその気象学習への 活用について

-令和3年7月熱海で発生した土砂災害を例として-

山根 悠介

要旨：令和3年7月3日熱海伊豆山地区で発生した土砂災害を引き起こした豪雨の発生条件について、気象庁提供の地上天気図と降水量データ、筆者が行っている学校気象観測のデータを用いて解析を行った。その結果、加藤学園暁秀（沼津市）での観測データにおいて7月1日から3日にかけて顕著な気温の上昇と気圧の下降、及び100%に近い高い湿度の持続が見られた。地上天気図を調べたところこれらの特徴は、7月1日から3日にかけての梅雨前線の北上による静岡県への南からの暖かい湿った空気の流入によるものと推察された。暖かい湿った空気の流入により、豪雨をもたらす積乱雲が発生発達しやすい気象状況が形成されたと考えられる。これらの考察における気象学習上のポイントについて、学校という定点における地上気象要素の変化と、その変化要因を探求するための地上天気図の解析という「点から面への思考の広がり」という観点から述べた。

キーワード：熱海，土砂災害，豪雨，学校気象観測，気象学習

1. はじめに

本稿は、令和3年7月熱海市伊豆山地区で発生した土石流災害を引き起こした豪雨について、気象庁提供のデータ及び筆者が行っている学校現場での気象観測によって得られたデータに見られた気象学的特徴及びその気象学習の題材としての活用におけるポイントについて述べるものである。

まず、令和3年7月熱海で発生した土砂災害の概要について述べる。令和3年7月3日に静岡県熱海市伊豆山地区において大規模な土石流が発生した。この土石流は逢初川の源頭部から当該河川に沿って流下した。この土砂災害により2022年2月10日時点において死者27名（災害関連死1名を含む）、行方不明者1名、住宅の全壊と半壊がそれぞれ53棟と11棟という甚大な被害が発生した⁽¹⁾。土石流は逢初川の源頭部における盛土が崩壊し、その大部分が流下したことによって引き起こされたと考えられている⁽²⁾。

次に、熱海で土砂災害が発生した際の降雨の状況について述べる。表1に2021年6月30日から7月5日までの静岡、三島、網代、天城山の4つの気象庁観測地点における日降水量と6日間の合計降水量及び7月の月降水量の平年値を示す。天城山では6月30日から7月5日までの6日間に7月平年（503.3mm）を上回る577mmの降水量を記録した。土砂災害が発生した伊豆山地区に最も近い気象庁観測点である網代においては、6月30日から7月5日までの6日間の降水量が438.5mmと7月平年（242.5mm）の約2倍の降水量を記録した。7月1日には110.5mm、7月2日は140mm、災害発生当日の

【表1】2021年6月30日～7月5日の日降水量と6日間合計降水量及び7月の月降水量の平年値（静岡，三島，網代，天城山）

	静岡	三島	網代	天城山
6月30日	0	0.5	21	7.5
7月1日	99.5	98	110.5	213
7月2日	187.5	178.5	161	237
7月3日	100.5	147	140	112.5
7月4日	6.5	8.5	5	2
7月5日	0	3	1	5
合計	394	435.5	438.5	577
平年値（7月）	296.6	223.4	242.5	503.3

7月3日には140mmの降水量がそれぞれ記録されており、災害が発生した7月3日の2日前から継続的に大量の雨が降っていたことがわかる。静岡と三島において6月30日から7月5日までの合計降水量はそれぞれ394mm，435.5mmであった。それぞれ7月の月降水量の平年値（296.5mmと223.4mm）の約50%及び約75%である。

図1から図4に2021年6月30日から7月5日までの静岡，三島，網代，天城山の4つの気象庁観測地点における1時間降水量の時系列を示す。静岡，三島，網代，天城山いずれの地点においても伊豆山地区で土砂災害が発生した7月3日10時半ごろに近い時間帯に1時間降水量の極大を記録していることがわかる。

以上のことから、伊豆山地区における土砂災害発生の数日前から被災地を含む県内の広い範囲で激しい雨が降り続いていたことがわかる。

本研究で対象とする伊豆山地区で発生した土石流のような顕著な災害に着目し、それをもたらした豪雨発生時の気象状況を学ぶことは、災害とそれを引き起こす気象の要因を理解し児童生徒自身とその家族および地域社会を災害から守る上で必要不可欠であり、気象教育と防災教育の両方の観点から重要である。本稿では、土砂災害発生時の重要な要因の一つとなった継続的な豪雨が発生した気象状況について、気象庁ホームページから入手可能なデータ及び筆者が現在行っている県内小中学校における気象観測データを用いて解析した結果について、気象学習における活用のポイントも含めながら報告する。

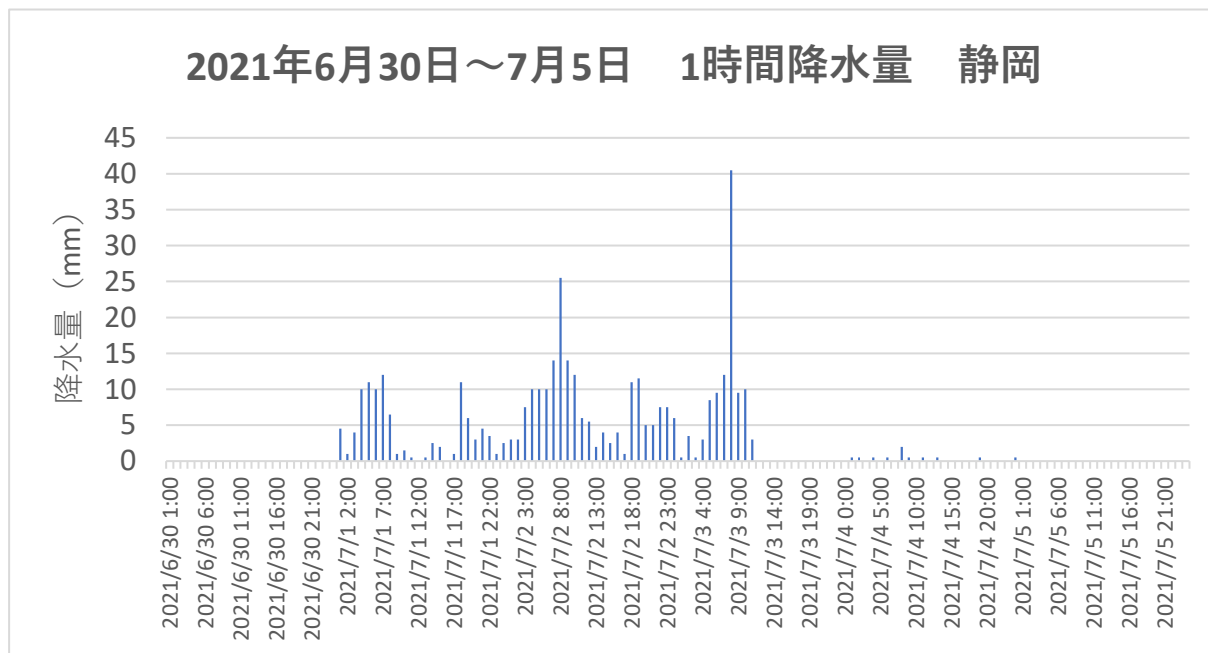
2. 使用したデータについて

本研究で使用した気象データは気象庁ホームページから入手したものと、筆者が現在行っている学校気象観測によって得られたデータである。気象庁ホームページからは、2021年6月30日から7月5日までの静岡，三島，網代，天城山における1時間降水量のデータ及び地上天気図を入手し使用した。本データは、気象庁ホームページの「各種データ・資料」の項目（<http://www.jma.go.jp/jma/menu/menureport.html>）から入手可能である。

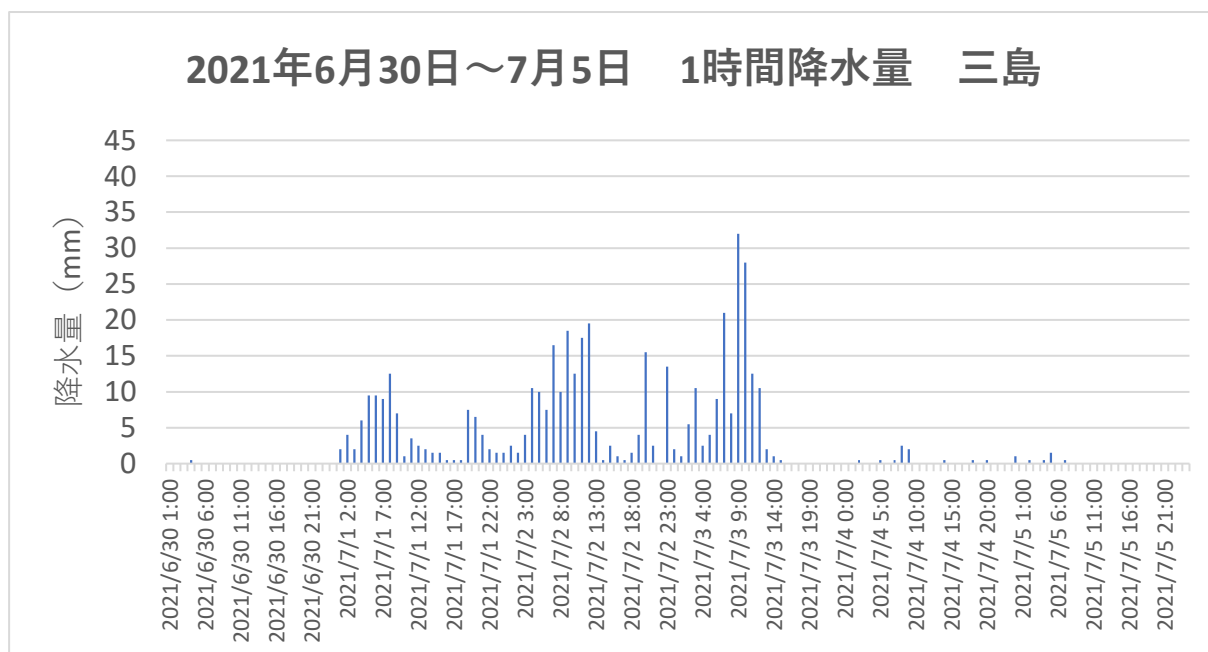
筆者は2015年12月より静岡県内の8つの小中学校において自動気象観測装置を設置して観測を行っている。現在、常葉大学付属菊川中・高等学校，東海大付属翔洋小，富士

災害をもたらす豪雨の発生条件に関する解析とその気象学習への活用について
 -令和3年7月熱海で発生した土砂災害を例として-

四宮市立柚野中，富士宮市立第四中，富士宮市立北山中，富士宮市立井之頭小，御殿場市立高根中，加藤学園暁秀中・高等学校の8校で観測を行っている。観測項目は全地点で気温と気圧，上記の学校の富士宮市内の中学校（柚野中，第四中，北山中）以外の地点では湿度も観測している。使用している測器はT&DのTR-73Uである。富士宮市内の4つの学校と高根中においては，氷点下でも測定可能な温度センサーTR-0160を使用して



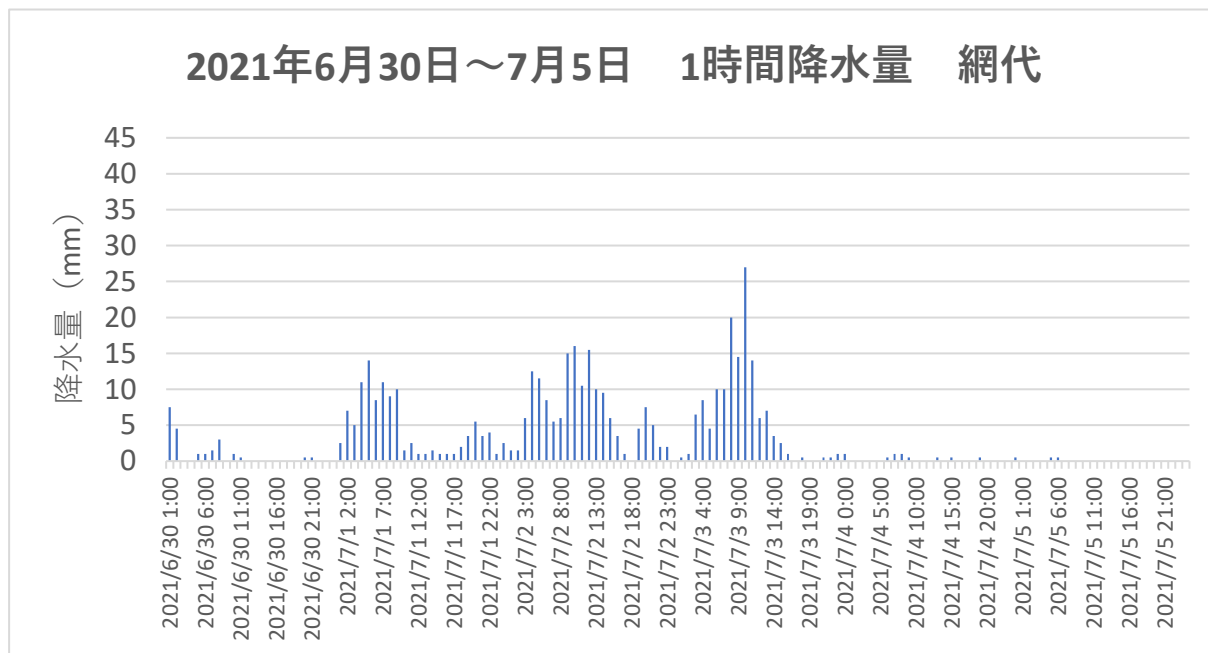
【図1】2021年6月30日から7月5日までの静岡における1時間降水量の時系列



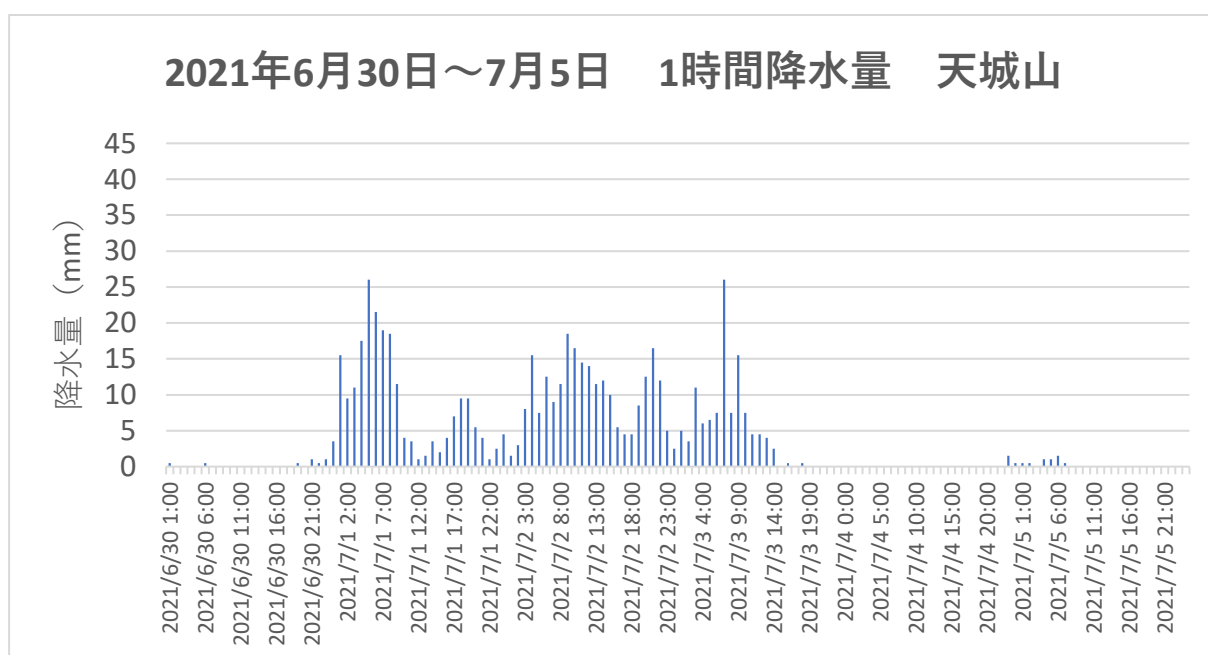
【図2】2021年6月30日から7月5日までの三島における1時間降水量の時系列

災害をもたらす豪雨の発生条件に関する解析とその気象学習への活用について
 -令和3年7月熱海で発生した土砂災害を例として-

気温の観測を行っている。また、加藤学園暁秀では、学内の無線 LAN を介して観測データを自動的にクラウドへ送信し、ウェブ上でリアルタイムにデータが閲覧できるシステムが利用可能である T&D の TR-72wb-S による観測も行っている。本研究では、土砂災害が発生した熱海市伊豆山地区に最も近い学校気象観測の地点である加藤学園暁秀（沼津市）における TR-73U による観測データ（気温，湿度，気圧）を用いて解析を行った。



【図3】2021年6月30日から7月5日までの網代における1時間降水量の時系列



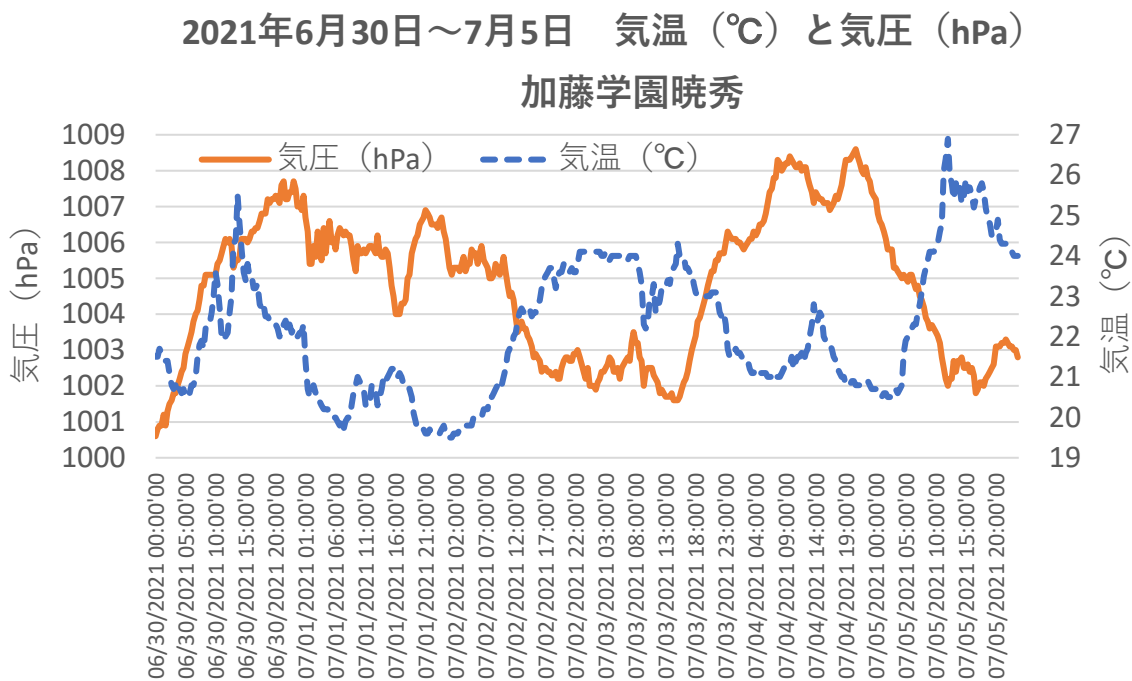
【図4】2021年6月30日から7月5日までの天城山における1時間降水量の時系列

3. 結果と考察

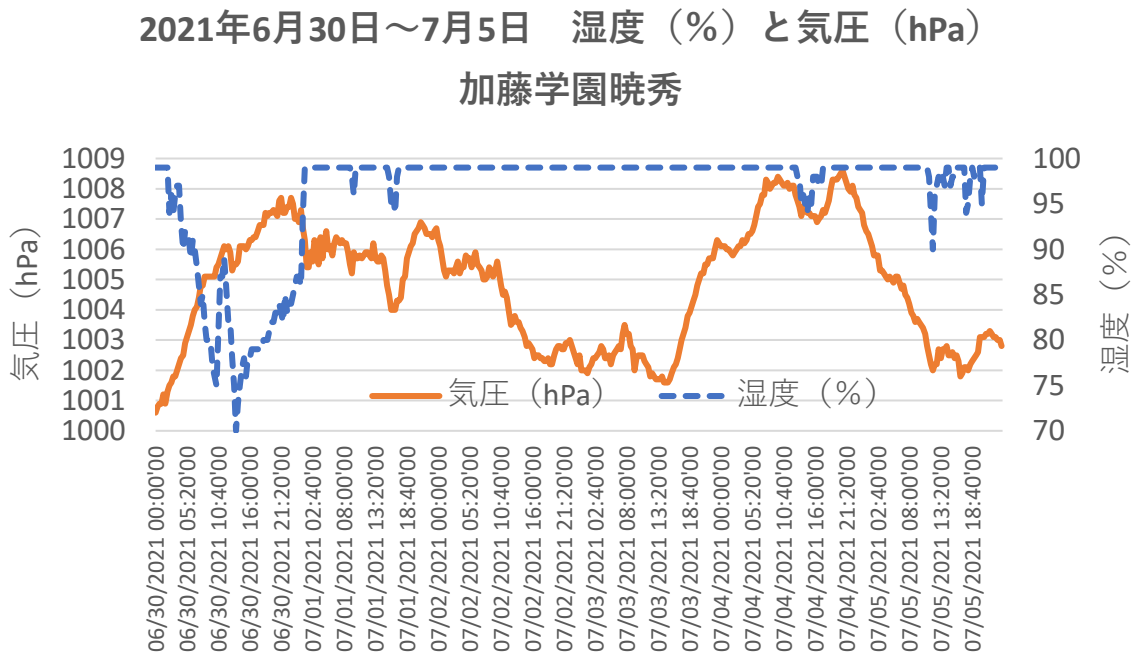
図5と図6に2021年6月30日から7月5日までの加藤学園暁秀における気温と気圧、湿度と気圧の時系列をそれぞれ示す。7月2日から土砂災害が発生した7月3日にかけての気圧の減少及び気温の上昇が顕著である(図5)。また図6を見ると、7月1日から4日にかけて湿度がほぼ100%の高い状態が続いている。湿度については6月30日から7月1日にかけての急な上昇が顕著である。ここで図5と図6で見られた7月2日から3日にかけての気圧の減少と気温の上昇及び高い湿度が続いた要因について気象庁の地上天気図を用いて考察する。図7に気象庁ホームページから入手した地上天気図(2021年7月1日から3日のそれぞれ9時)を示す。7月1日には東西に延びる梅雨前線が本州よりも太平洋側に南下し、九州の一部に前線がかかっている状況である。7月2日には梅雨前線が北上し、伊豆半島の南部に前線がかかっている状況である。3日には梅雨前線がさらに北上し、静岡県はちょうど前線上に位置する状況となっている。7月1日は梅雨前線の南下により静岡県は前線の北の寒気側に位置していたため、当日は前後の日に比べて気温が低かったと考えられる。7月2日から3日かけて、梅雨前線の北上に伴い気圧が減少し、また静岡県が前線の南の暖気側に位置することにより、南方からの暖かい湿った空気の流入が顕著となって気温の上昇と高い湿度の継続が見られたと考えられる。このように、伊豆山地区で土砂災害が発生する7月3日までに梅雨前線が北上し、これに伴い暖かく湿った空気が流入することによって大気が不安定化し、継続的な豪雨をもたらすような積乱雲や積乱雲群が発生発達しやすい気象状況が形成されたと考えられる。

続いて、上記の考察における気象学習でのポイントについて述べる。まず気温の変化について、1日ごとに見ると、明け方頃に気温が最も低く正午過ぎに最も高くなるという典型的な気温の日変化を示しながらも、日によって気温が全体的に高い日や逆に低い日があること、日変化についてもその変化が大きい日もあれば小さい日もあるというような様々な変化パターンが見られることに注目したい。例えば、6月30日と7月1日を比較すると、いずれの日も明け方頃に気温が最も低く正午過ぎに気温が最も高くなっているが、6月30日はその変化が大きく、一方で7月1日は変化が小さく1日全体として気温は低めである。さらに7月3日は明け方頃の気温の低下が明確でなく、前日2日の日没頃から3日の午前にかけて気温がほぼ一定となっている。7月3日は1日を通してほぼ天気が雨であり気温の変化は小さい。これは晴れの日と雨、曇りの日の気温の変化の違いという小学校の気象分野で学習する事項であり、このことを観測データで実際に学習することでより理解を深めることができる。このように、数日間の気温の変化にも様々なパターンが見られることを“発見”することで、なぜそのような変化が生じているのかという次の段階への能動的な探求を促す考察につなげていきたい。7月1日に気温が1日全体を通して低めであるのは、上述の通り梅雨前線の南下により静岡県は前線の北の寒気側に位置していたためと考えられる。図5または図6に見られるように、7月1日から3日かけて見られた気圧の下降傾向の要因についても地上天気図から理解することができる。上述のとおり、7月1日から3日かけて梅雨前線が北上し、これに伴って前線が静岡県に接近したため気圧が減少傾向を示していたと考えられる。湿度については、7月1日から3日かけてほぼ100%という高い湿度の状態が継続している。上述のとおり、これは梅雨前線の北上により静岡県に南からの暖かくて湿った空気の流入があったことによると思われる。

災害をもたらす豪雨の発生条件に関する解析とその気象学習への活用について
 -令和3年7月熱海で発生した土砂災害を例として-



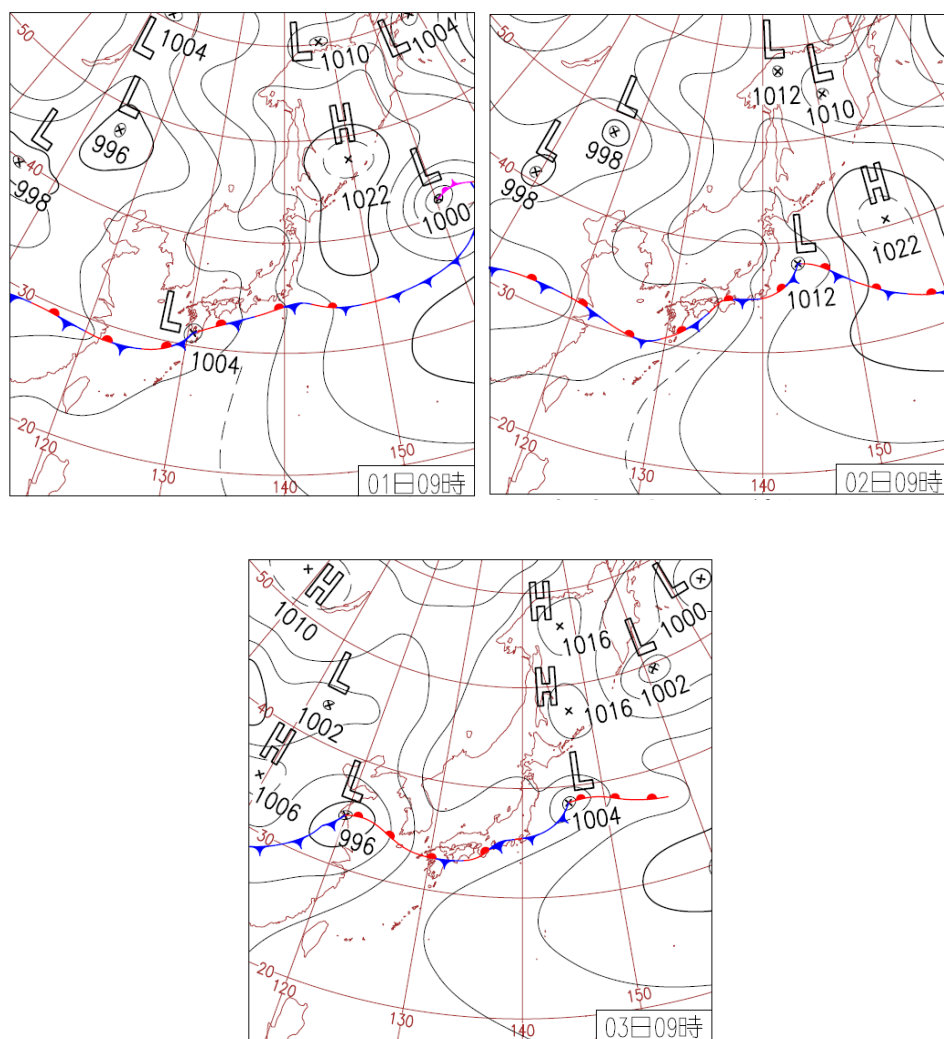
【図5】2021年6月30日から7月5日までの加藤学園暁秀における気温と気圧



【図6】2021年6月30日から7月5日までの加藤学園暁秀における湿度と気圧

災害をもたらす豪雨の発生条件に関する解析とその気象学習への活用について
-令和3年7月熱海で発生した土砂災害を例として-

る。これらの前線の動きと地上気象の変化の関係性を実際のデータを使って学ぶなかで、前線そのものの構造や特徴についても振り返りつつ理解を深めながら学習を進めたい。このように、児童生徒が1日のうちで長い時間を過ごす身近な場所としての学校という定点での観測データから、時には児童生徒の気象の体感（暑い、寒い、ジメジメする、等）もふまえながら様々な特徴を読み取り、その変化要因を探るために地上天気図を解析するという「点から面への思考の広がり」を重視したい。さらには、地上に暖かく湿った空気が流入することにより、豪雨をもたらすような積乱雲が発生発達しやすくなることについて、中学校理科で学習する雲の形成過程と絡めながら理解を深めるようにしたい。



【図7】2021年7月1日9時（左上）、7月2日9時（右上）、7月3日（下）における地上天気図（気象庁ホームページより引用）

4. まとめ

令和3年7月3日熱海市伊豆山地区で発生した土砂災害を引き起こす大きな要因の一つとなった豪雨に関して、それをもたらす気象状況について気象庁ホームページから入手したデータと筆者が行っている学校気象観測データを用いて解析を行った。その結果、土砂災害が発生した7月3日の数日前より梅雨前線が北上し、これに伴い静岡県に暖かく

災害をもたらす豪雨の発生条件に関する解析とその気象学習への活用について
-令和3年7月熱海で発生した土砂災害を例として-

て湿った空気の流入が顕著となり、豪雨をもたらすような積乱雲が発生発達しやすい気象状況が形成されたと推察された。

これらの豪雨をもたらした気象状況に関する考察における学校での気象学習のポイントについて述べた。学校という定点で見られる気温、湿度、気圧の様々な変動パターンを発見し、それらのパターンが生じた変化の要因を能動的に探求するべく地上天気図を解析するという「点から面への思考の広がり」の重要性、及びその観点に沿った学習のポイントについて指摘した。

参考文献

- (1) 「熱海市伊豆山地区土砂災害の被害と対応について」, <http://www.pref.shizuoka.jp/kinkyu/documents/atamidosyasaigai0225.pdf> (2022年3月1日閲覧)
- (2) 「熱海市伊豆山地区土石流 土質調査の結果 (速報)」, https://www.pref.shizuoka.jp/kensetsu/ke-350/documents/kisyateikyou_doshitucyousakekka.pdf (2022年3月1日閲覧)