

気象庁降水種別判別を元にした着雪指標の検討

The examination of a snow accretion index based on the precipitation type discrimination of Japan Meteorological Agency

遠藤悠¹, 北嶋知樹², 津屋太志³, 森川浩司¹, 小島徹也¹, 佐藤篤司¹

¹Haruka Endo, ²Tomoki Kitashima, ³Taishi Tsuya, ¹Hiroshi Morikawa, ¹Tetsuya Kojima, ¹Atsushi Sato

¹株式会社工学気象研究所

¹Meteorological Research Institute for Technology co.,ltd.

²古河電工パワーシステムズ株式会社

²FURUKAWA ELECTRIC POWER SYSTEMS CO.,LTD.

³東京電力パワーグリッド株式会社

³TEPCO Power Grid, Incorporated

1. はじめに

架空送電線の着雪が大きく発達すると、送電線の電気事故や設備被害にも発展する可能性がある。そのため、架空送電線における着雪予測は、設計・保守両面から極めて重要である。

既往の研究¹により降水の着雪のしやすさについては、気温と湿度の要素より評価可能であることが報告されている。一方、気象庁でも2011年より、気温と湿度より降水種別の判定を開始したが、同判定式は雪、みぞれ、雨の境界が1次式で表されている²。みぞれの範囲と雪の範囲の境界線からの離隔によって、着雪しやすさを表現する着雪指標として使用できないかと考えた。

本研究は、この気象庁の判定式を用いて、みぞれの範囲と雪の範囲の境界線からの離隔が、送電線への着雪のしやすさを表現する指標(着雪指標)として適用可能かどうかを、観測による実際の着雪状況との比較により検討したものである。

2. 実施内容

2.1 気象庁の降水種別判定方法

気象庁が2011年に発行した地上気象観測指針に、降水種別の判定方法として降水時の気温と湿度の関係が示されている。(図-1)この図を以下、降水種判定図と記すこととする。

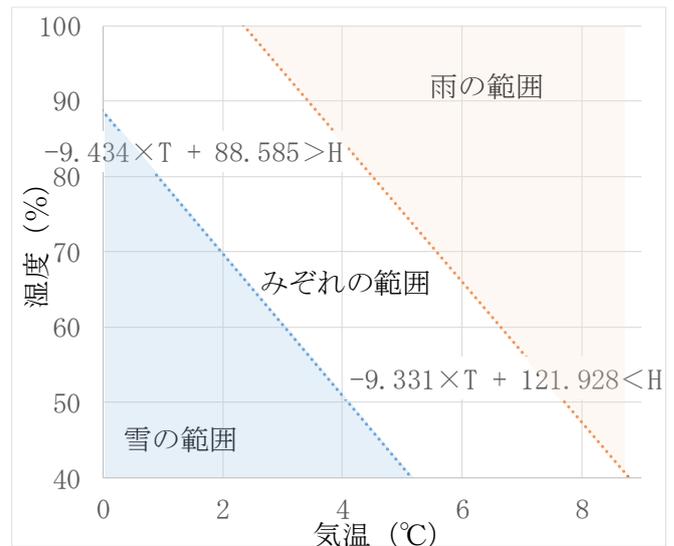


図-1 気象庁降水種別判定²

2.2 着雪指標の設定

図-1に計測された気温、湿度をプロットし、この点と「雪の範囲」と「みぞれの範囲」の境界線の距離を着雪指標と定義した。着雪指標の求め方を式-1に示す。

$$S_{AI} = -1 \times (-0.994 \cdot t - 0.105 \cdot h + 9.337) \quad \dots \text{式-1}$$

ここで、
 S_{AI} : 着雪指標
 t : 降水時の気温 (°C)
 h : 降水時の湿度

このとき、着雪指標がマイナスの値の場合はプロットが雪の範囲に、0の値の場合はプロットが雪とみぞれの境界上に、プラスの値の場合はみぞれもしくは雨の範囲にある

ことを示している。着雪指標の値、すなわち、境界線との距離をもって、着雪しやすさを表現しうる指標になる可能性があると考えた。

2.3 観測

観測地点は、長野県塩尻市にある送電鉄塔である。観測地点は松本盆地の南東端にあり、峠に向かって狭い地形となっている。観測地点の標高が850mであり比較的高所であることから、気温の変動幅が大きく、また風向によって峠に向かう上昇流、峠からの吹き出しがあり、降水の種別の変化に影響する。当該地点は雨氷による着氷が発生することがあり、観測の主目的はその把握であるが、一方で、同地点は南岸低気圧の接近によって降雪となることも多く、架空送電線に着雪する事例も見受けられる。

本研究では、この「着雪」事象に着目して、検討を実施した。



図-2 観測地点³⁾

表-1 観測項目

センサー	記録項目	取付位置	備考
地線温度計	地線温度	地線	アース線の温度
気温計	気温	鉄塔上部	
湿度計	湿度	鉄塔上部	
着雪重量計	着雪量	鉄塔上部	
感雨計	降水時間	鉄塔上部	ヒータ装備
雨雪量計	降水量	地上部	ヒータ装備
三杯型風速計	風向風速	鉄塔上部	
矢羽根風向計			
超音波風向風速計	風向風速	鉄塔上部	ヒータ装備

観測装置は、気温計、湿度計、感雨計、カメラ、着雪重量計、風向風速計がある。着雪重量計は模擬電線の重量を連続的に計測して着雪重量とした。模擬電線は架空送電線と同じものを長さ1mに切断し水平に吊下し、通電なしとし

たものである。図-4に示す通り、上空には遮蔽物は無い。ヒータ付き雨雪量計も設置しているが、風の影響による降水粒子捕捉に問題があるため、参考にとどめた。

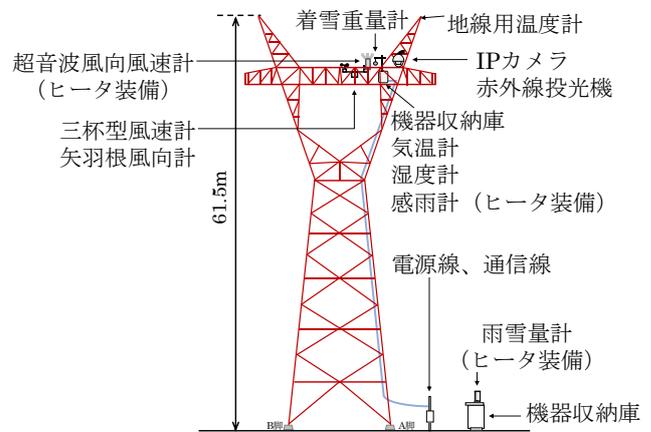


図-3 計測機器配置図

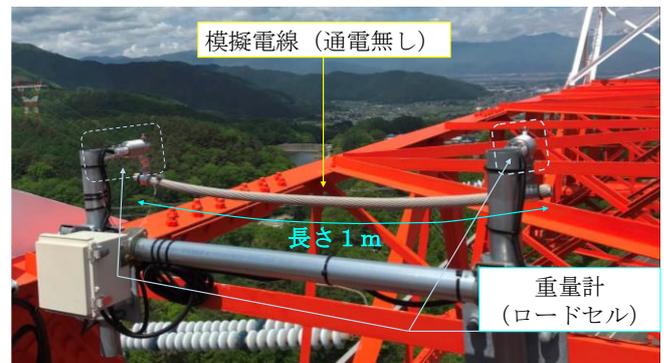


図-4 着雪重量計設置状況

2.4 着雪事例

表-2 確認された着雪事例

No.	日付	気象概況	最大着雪重量(kg/m)
1	2018/12/23-24	南岸L 後冬型	0.176
2	2019/01/19-20	気圧の谷通過	0.098
3	2019/02/03-04	日本海L	0.145
4	2019/02/19-20	日本海L	0.167
5	2019/02/28	南岸L	0.104
6	2019/03/10-11	南岸L	1.183
※7	2019/04/10-11	南岸L	0.584
8	2020/02/12	日本海L	0.124
9	2020/02/16	気圧の谷通過	0.187
10	2020/03/08	南岸L	0.227
※11	2020/03/28-29	南岸L	0.747
12	2020/04/12	南岸L	0.142

凡例：南岸L：南岸低気圧，日本海L：日本海低気圧，※：雨氷が確認された事例，日付19-20は19日から20日の意味，色網掛は詳細に検討した事例

月から2020年4月に5件の着雪事例が見られた。本研究では着雪を対象としたが、一部着氷現象も含んでいる。表2に、事例の日時、その期間の09時の気象概況、期間中の最大着雪量を示す。それぞれの状況を確認したのち、着雪しなかった事例として2019年1月28-29日の事例を、顕著な着雪事例としてNo.6, 10の2件、着氷と着雪の複合事例としてNo.11について検討した。

(1) 事例1 (2019年1月28-29日, 着雪無し)

図-5, 図-6に2019年1月28日12時から29日12時までの時系列を示す。この日は、秋田沖から三陸沖へ低気圧に伴う寒冷前線が、本州を横断した。観測地点では1月28日14時過ぎから1月29日01時過ぎまで、断続的に降水が観測されている。

気温の推移をみると、降水時間が長かった1月28日15時から同日18時過ぎまでは0℃付近であったが、着雪重量は増加しなかった。この期間中の静止画を確認すると、送電鉄塔の水平部材には冠雪が見られたが、模擬電線には着雪していなかった。(図-8) 静止画は定点撮影カメラ取付位置の制約から、模擬電線の一部が隠れている。被写体の見え方を図-7に解説した。着雪指標は-3.0から-1.5であった。図-6の気温-湿度の関係を図-9に示した。降水時は湿度が低く、「雪の範囲」にプロットされている。

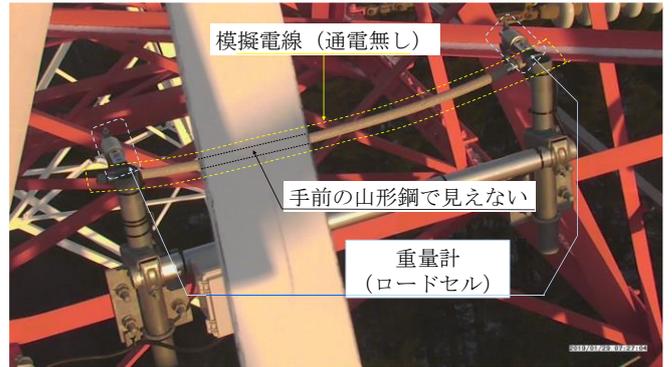


図-7 模擬電線定点撮影時の被写体の様子 (模擬電線を東側斜め上に設置したIPカメラで撮影した)



図-8 着雪していない様子 (2019年1月28日16:57)



図-5 降水時間と気温 (2019年1月28-29日)



図-6 着雪指標と着雪重量 (2019年1月28-29日)

図-10, 図-11に2019年3月10日の時系列を示す。この日は南岸低気圧の接近によって、観測地点で降水が観測された。3月10日は16時過ぎから降水が観測されている。このころは気温が+8℃程度であり降水種別はみぞれ、着雪指標は+3.4を示していた。3月10日22時44分以降の静止画では降水粒子が判別でき、映像から雪であると推定できる。着雪指標は+0.5で、このころから着雪重量が増加を示している。図-11では便宜的に10分間で4gの重量増加があったときに増加マーカを描画した。

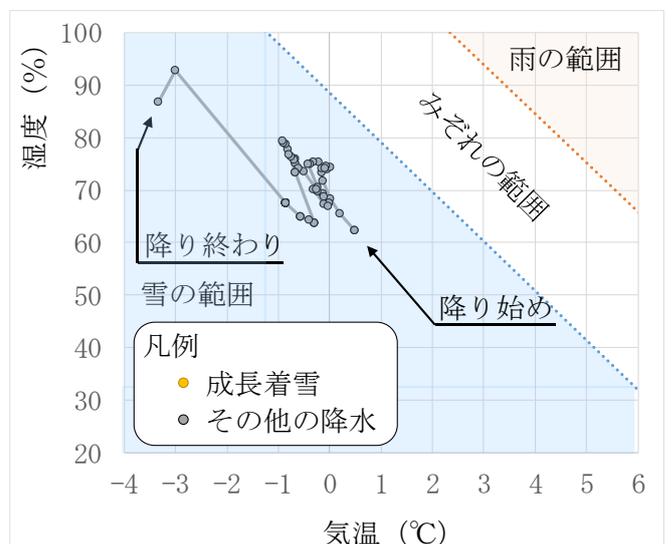


図-9 気温-湿度の推移 (2019年1月28-29日)

(2) 事例2 (2019年3月10-11日, 着雪)

図-12では降水種判定図に、計測データをプロットした。図-11と同様に、着雪重量が増加しているプロットには増加マーカで示した。グラフ右下が降り始めであり、時間の推移が矢印で示してある。時間の経過に従って気温が低下し、降水粒子はみぞれと雪の境界線付近で増加マーカが付加されている。その後、みぞれと雪の境界線から離れるが、みぞれの領域に増加マーカは描画された。

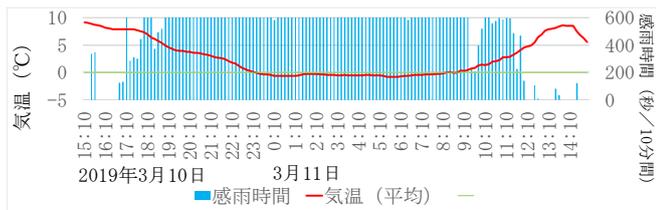


図-10 降水時間と気温 (2019年3月10-11日)

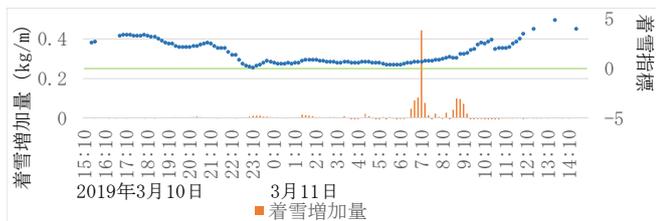


図-11 着雪指標と着雪増加量 (2019年3月10-11日)

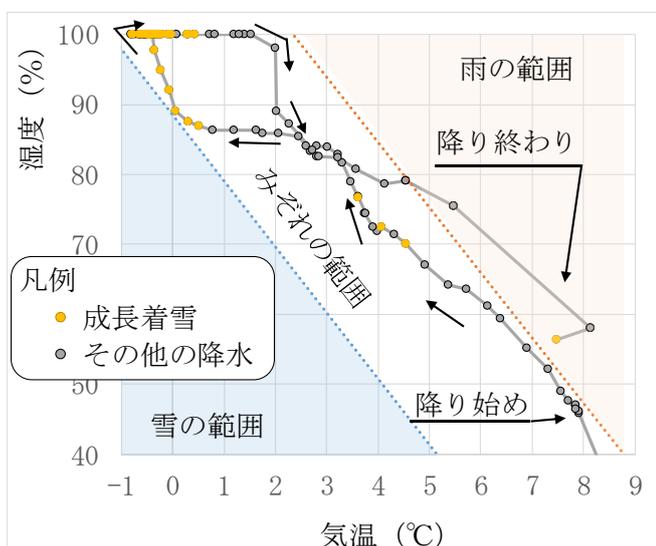


図-12 気温-湿度の推移 (2019年3月10-11日)



図-13 降雪を判断した画像 (2019年3月10日22:44)



図-14 着雪の様子 (2019年3月11日08:36)

(3) 事例3 (2020年3月8日, 着雪)

図-15, 図-16に2020年3月8日の時系列変化を示す。この日は南岸低気圧の接近によって、観測地点では降水が記録された。3月8日04時ころから降水があり、05:50には着雪指標が0.0を示している。この時から着雪重量が増加を示した。10:50に最後の増加マークが描画されており、その時の着雪指標は+1.1であった。プラスの着雪指標はみぞれを示している。

着雪重量の時系列 (図-16) を見ると、3月8日11:00が着雪重量のピークであり、その後は急激に低下している。静止画で確認すると、10:58 (図-17) には模擬電線上に着雪が確認できるが、11:10 (図-18) には着雪の脱落が始まっていた。11:00の気温は0.0°C (図-15) であり、それまで氷点下であった気温がプラスに転じていた。

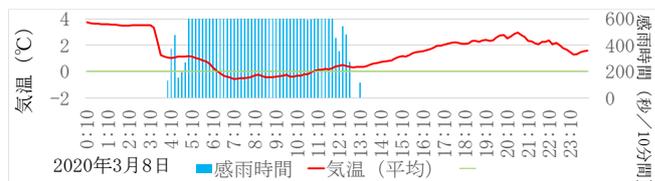


図-15 降水時間と気温 (2020年3月8日)

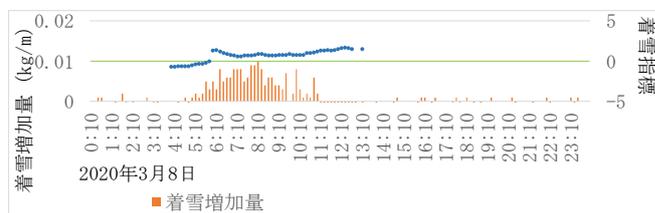


図-16 着雪指標と着雪増加量 (2020年3月8日)

図-19に降水種判定図に、計測データをプロットした。グラフ中央下が降り始めである。湿度が低く雪の範囲であった。降り始めは降水強度も低かった。その後、降水強度が高くなり湿度も上昇して、みぞれの範囲に入り、着雪指標0.0から+1.3になったときに着雪重量が増加したことを示すマークがついた。その後は、みぞれの範囲のプロットで、着雪の増量を示すマークが描画された。



図-17 着雪の様子 (2020年3月8日 10:58)



図-18 着雪の様子 (2020年3月8日 11:10)

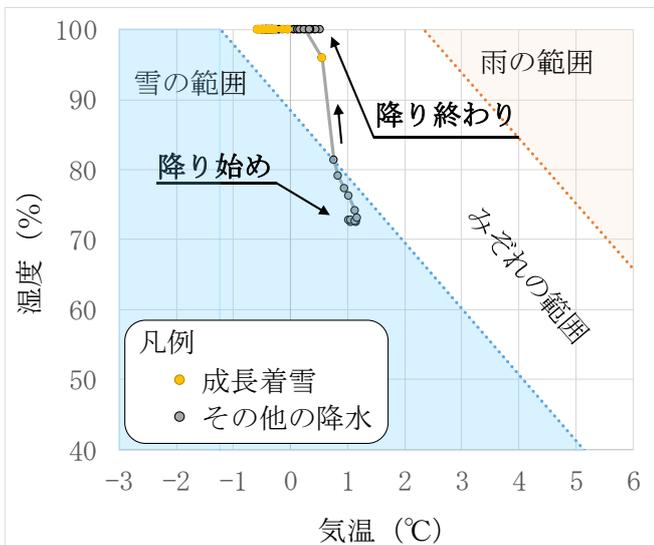


図-19 気温-湿度の推移 (2020年3月8日)

(4) 事例4 (2020年3月28日-29日, 着氷着雪)

図-20, 図-21に2020年3月28日16時から29日16時までの時系列を示す。この日は南岸低気圧の接近によって、降水が観測された。静止画像によると、28日16時の降水種は雨であった。29日0時過ぎからカメラ筐体への透明な着氷が確認されており、29日03:18の静止画像より着雪の増加が確認されている。また、日中の静止画像で風速計への氷柱状の着氷が確認され、特にカップのフチ上部にも透明な氷が確認できる。通電されていない地線の表面温度の変化を見ると、気温の氷点下への低下にも関わらずほ

ぼ0°Cを維持している時間帯がある。このときは深夜であるから、熱源は過冷却の雨が凍結する際の潜熱であると考えられる。地線温度が0°Cより低下を始める時刻は、着雪重量の増加が最初のピークに達した時刻と合致する。このことから、28日23:10ころから01:50ころまで過冷却の雨による着氷(雨氷)が発生、その後29日03時ころから29日12時ころまで断続的な降雪があったと推定できる。

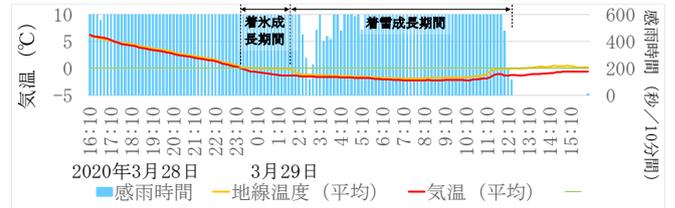


図-20 降水時間と気温 (2020年3月28-29日)

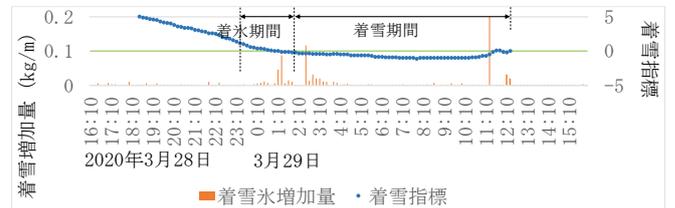


図-21 着雪指標と着雪増加量 (2020年3月28-29日)



図-22 サンプラ着氷 (2020年3月29日 12:13)



図-23 風速計着氷 (2020年3月29日 14:02)

図-24では降水種判定図に、計測データをプロットした。グラフ右上が降り始めである。降り始め時は気温が高く雨であるが、やがてみぞれの範囲に入り、過冷却の雨になっ

た。その後降水種は雪に変化しているが、グラフではみぞれの範囲内で、数値データから過冷却の雨、雪を判別することは難しい。

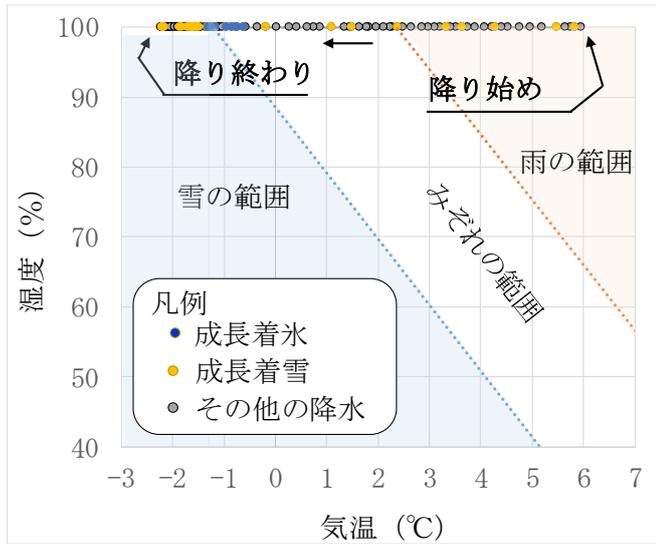


図-24 気温-湿度の推移 (2020年3月28-29日)

2.5 着雪指標と着雪事例数の検討

観測データから着雪指標別着雪発生数を集計した。結果を図-25に示す。着雪が増加している事例は、着雪指標+0.8が最も多かった。着雪指数が-0.5から+2.1までの間に70%の着雪重量増加事例が含まれた。その多くがみぞれの範囲で発生していた。

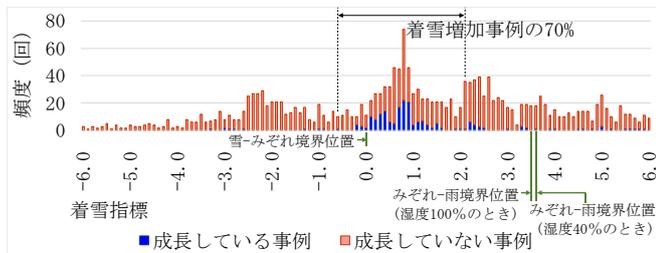


図-25 着雪指標別着雪事例発生数

集計対象は、2018年12月から2019年4月まで、2019年12月から2020年4月までとした。10分間前の着雪重量より増加している事例を着雪重量増加事例、それ以外を増加していない事例とした。なお、1分未満の降水時間の事例は除外した。雪-みぞれ境界位置は着雪指標0.0である。みぞれ-雨境界位置は、湿度100%のときは着雪指標+3.5、湿度40%のときは着雪指標+3.6である。雪-みぞれ境界線と、みぞれ-雨境界線は平行ではないので、湿度もしくは気温によって境界位置の着雪指標が異なる。

3. 考察

着雪重量の増加は、着雪指標が+0.8のときが最も多かった(図-25)。着氷指数が-0.5から+2.1までの間に70%の着

雪重量増加事例が含まれた。

一般に着雪は気温が0°C~+2°C程度で発生するとされている。先の2事例では、いずれもみぞれの範囲で着雪が始まる。いったん着雪が生じると、マイナスの気温でも着雪は成長している。また、事例2では+4.5°C程度で着雪が始まっており、着雪の成長はみぞれの範囲であることが重要と考えられる。

本研究では着雪に注目したが、一部、着氷現象も含めた。過冷却の雨による着氷と着雪の複合事例が捕捉できた。この事例では、気温-湿度の推移図では、過冷却の雨と雪の判別はできず画像による確認を行った。数値データで有効であったのは地線温度であった。着氷する物体の表面温度の計測は、雨氷を捕捉する際に重要なデータとなり得る。

4. まとめと今後の課題

着雪指標は、着雪の発生を示す指標となる可能性を見出した。

本研究では扱いが容易な気象庁発表降水種別判定方式を用いた。この判定方式は判別式がリニアでシンプルであるので扱いが容易であった。この判定方法でみぞれの範囲にある降水は、付着しやすい雪となることが多いことがわかり、設備保安保守には有意義な情報となり得ると結論付けられた。

着雪重量が増加しているときにマーキングし、グラフに描画すると、着雪はみぞれの範囲内で多く発生していた。

この方法は、降水の有無、気温、湿度から着雪指標を求めることができるので、気象庁が発表している数値予報データと組み合わせて運用することもできる。将来は着雪による不具合に備える保守担当者に、「現在の状況」に加えて「翌日のリスク」を示す着雪危険度を示すことを目指す。

また、着雪指標が同じでも、着雪が発達する場合と発達しない場合があった。今後はその違いの原因が何かを探ることを課題とする。

さらに、着雪指標と着雪量の関連付けも、今後の課題とする。

5. 参考文献

- 1: 杉本聡一郎他, 気象データを用いた送電線着雪タイプの判別手法の提案, 電力中央研究所報告研究報告 N11059, 2012年
- 2: 気象庁地上気象観測指針 2011
- 3: 国土地理院 Web ページ地理院地図より抜粋, 加工 <https://maps.gsi.go.jp/#12/36.113416/137.999062/&bas=e=std&l=std&disp=1&vs=c1j0h0k0l0u0t0z0r0s0m0f0>