

最適な雪かきのタイミング

国立鳥取大学附属中学校 2年C組32番 森田 寧音

1 研究の動機や目的

2023年1月下旬、10年に1度とも言われる強烈寒波を経験した。日本各地で積雪記録を更新し、交通にも大きな影響が出た。私が住む町でも、あっという間に雪が降り積もり、何度も何度も雪かきをすることとなった。

せっかく雪かきをしても、すぐにまた積もるのなら、ある程度積もってからまとめてかいた方が雪かきに出る回数も減り、楽なのではないか、と考えた。そうはいつでも、あまりに積もると雪も重くなり、雪かきに出た際の除雪量が増え、時間がかかる。

積雪量がどのくらいになったときに雪かきをするのが、時間をかけず済ませられるのだろうか、今年もやってくるであろう大雪に備えるため、調べてみたいと思った。

2 研究の方法や内容

(1) 時間の経過と積雪の状態・重さを調べる。

(1-1) 積雪の種類について

(1-2) 時間の経過に伴う雪質の変化について

(1-3) 積雪量の変化について

(2) 雪かきにかかる時間と除雪量の計算方法を考える。

(2-1) 雪かきにかかる時間と除雪量の計算方法について

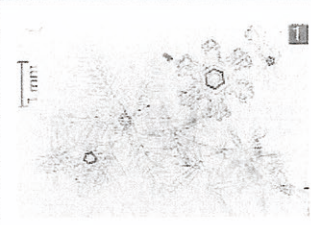
(2-2) 雪かきをした後の道路について

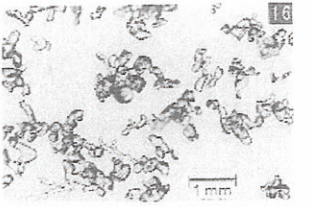
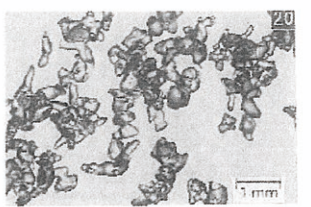

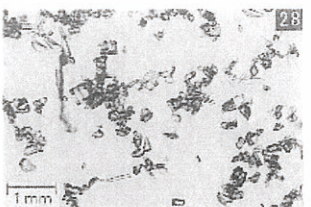


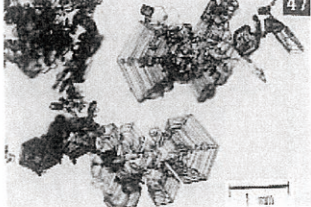
(3) 雪かきを始めるタイミングを変え、雪かきにかかる時間を調べる。

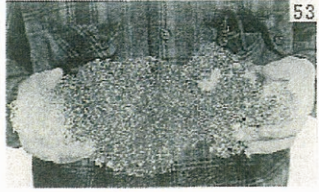
(1) 時間の経過と積雪の状態・重さを調べる

(1-1) 積雪の種類

日本雪氷学会の積雪分類によると、

| 名前 記号 | 写真 | 説明 | 密度 (kg/m ³) |
|-------------------|---|--|----------------------------|
| 新雪(new snow) + |  | 積もってから数日程度の雪で、降雪時の結晶の形が残っているもの。みぞれやあられを含む。 | 30~150 |

| | | | |
|---|---|---|-------------|
| こしまり雪 (lightly compacted snow) / |  | 新雪としまり雪の間。降雪結晶の形はほとんど残っていないが、しまり雪にはなっていないもの。 | 100～ 250 |
| しまり雪 (compacted snow) ● |  | こしまり雪にさらに圧力が加わり、雪同士がくっついて丸みを帯びた氷の粒。粒はお互いに網目状につながって丈夫。 | 150～ 500 |
| ざらめ雪 (granular snow) ○ |  | 水を含み、粗大化した丸い氷の粒や、水を含んだ雪が再凍結して、大きな丸い粒が連なったもの。 | 200～ 500 |
| こしもざらめ雪 (solid-type depth hoar) □ |  | 積雪内部で雪粒に霜の結晶が成長しはじめた雪質で、平らな面を持った結晶からなるもの。 | 100～ 400 |
| しもざらめ雪 (depth hoar) ^ |  | コップ状や板状の粒からなる。元の雪粒が霜に置き換わったもの。表面に階段状の模様が見える。 | 200～ 400 |
| 氷板(ice layer) — |  | 板状の氷。 | |
| 表面霜(surface hoar) v |  | 空気中の水蒸気が雪面に凝結してできた霜の結晶。 | |

| | | | |
|-------------------|---|--------------------|--|
| クラスト (crust) ▽ |  | 積雪表面にできる薄く 硬い層。 | |
|-------------------|---|--------------------|--|

(1-2)時間の経過に伴う雪質の変化について

積雪は自身の重さやその上に積もった雪の荷重により徐々に縮んでいく。このため、積雪各層の雪の密度は時間とともに増加（圧密）する。

また、降水量や気温などによって状態は絶えず変化していく。

雪質が変化する過程には、次の3種類がある。

- ①等温変態：等温に近い状態で焼結（雪粒同士の結合部が発達）と圧密が進行する。接触点が多いほど多くの結合部が形成され硬くなる。
- ②融解変態：融解と再凍結を繰り返して進行する。水の介在によって小さな雪粒が合体し、ざらめ雪に変化。
- ③温度勾配変態：温度差の大きな積雪中で進行する。温度差によって水蒸気が暖かい層から冷たい層に移動し、冷たい層には霜状の結晶が成長。こしもざらめ雪、しもざらめ雪へと変化する。

このように、雪質は絶えず変化しているが、私の地方では、雪かきは、降り始めてからその日のうち、または翌日には取りかかり始め、降り続けている状況で数日間放置することは考えにくい。

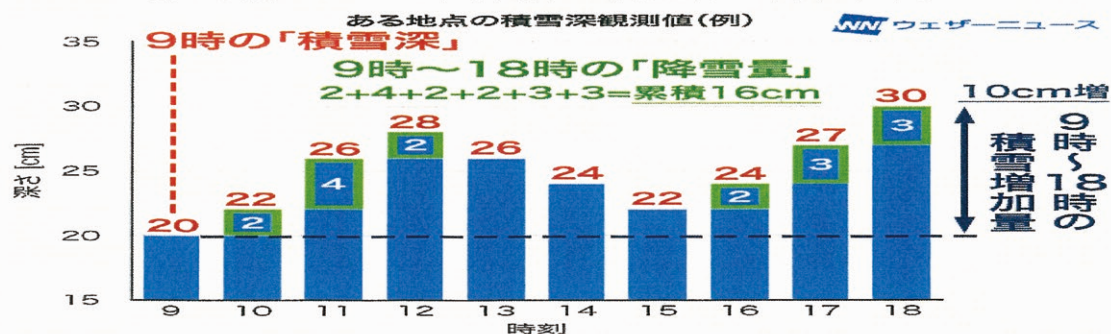
よって、今回の研究では、(1-1)積雪分類のうち、新雪（＝積もってから数日程度の雪）のみを対象として考えることとする。

(1-3)積雪量の変化について

積雪に関する用語として「積雪深」と「降雪量」がある。

積雪深：ある時点における積雪の深さ。測ることができる。

降雪量：1時間ごとの積雪深増加分のある期間における積算。直接的に測る手段がないため、積雪深の増加差分の累積で表す。



ウェザーニュース「積雪深」「降雪量」と積雪増加量のイメージ

気象庁のデータより、今年の冬に積雪を記録した2023年1月24日、25日、28日の倉吉市の積雪量の変化を見てみると、下記のとおりである。

《2023年1月24日》

| | | | | | | | | | | | |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 時刻 | 14時 | 15時 | 16時 | 17時 | 18時 | 19時 | 20時 | 21時 | 22時 | 23時 | 24時 |
| 降雪 | 0 | 1 | 9 | 7 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 積雪 | 0 | 1 | 10 | 17 | 23 | 21 | 19 | 19 | 17 | 15 | 15 |

《2023年1月25日》

| | | | | | | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|
| 時刻 | 1時 | 2時 | 3時 | 4時 | 5時 | 6時 | 7時 | 8時 | 9時 | 10時 | 11時 | 12時 |
| 降雪 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 3 | 2 | 0 | 0 | 1 |
| 積雪 | 15 | 15 | 14 | 14 | 14 | 14 | 16 | 19 | 21 | 20 | 20 | 21 |

| | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 13時 | 14時 | 15時 | 16時 | 17時 | 18時 | 19時 | 20時 | 21時 | 22時 | 23時 | 24時 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 21 | 22 | 22 | 23 | 23 | 24 | 25 | 26 | 25 | 25 | 25 | 24 |

《2023年1月28日》

| | | | | | | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|
| 時刻 | 0時 | 1時 | 2時 | 3時 | 4時 | 5時 | 6時 | 7時 | 8時 | 9時 | 10時 | 11時 |
| 降雪 | 0 | 3 | 3 | 2 | 1 | 4 | 3 | 0 | 0 | 3 | 0 | 3 |
| 積雪 | 11 | 14 | 17 | 19 | 20 | 24 | 27 | 27 | 27 | 30 | 30 | 33 |

| | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 12時 | 13時 | 14時 | 15時 | 16時 | 17時 | 18時 | 19時 | 20時 | 21時 | 22時 | 23時 | 24時 |
| 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 36 | 36 | 35 | 33 | 32 | 33 | 33 | 33 | 34 | 34 | 34 | 33 | 33 |

現実には様々な条件によって雪は圧縮され、降った量がそのまま積雪量となるわけではないが、気象データ上、雪が降っている間は圧密等による積雪の減少はなく、1時間ごとの降雪量＝積雪の増加分となっている。

また、この3日間のうち、雪が降っていた時間帯について1時間あたり降雪量の平均は2.625cm（63cm÷24時間）であるため、今回の研究では雪は毎時3cmずつ降り積もるものと仮定する。また、この3日間で最も降雪が連続しているのは6時間（1月28日1時～6時）であるため、雪は6時間降り続くものとして考える。

(2) 雪かきにかかる時間と除雪量の計算方法を考える

(2-1) 雪かきにかかる時間と除雪量の計算方法について

- ・ (1-3)のとおり、雪は毎時3 cm、6時間、降り積もることとする。
- ・ 雪かき範囲は、縦2 m、横3 m、面積6 m²の自宅前道路。
- ・ スコップ1かきに乗せられる雪の体積は一定とし、3600 cm³ (スコップの幅30 cm、奥行き40 cm、乗せられる雪の高さ3 cm) とする。
- ・ 1かき (雪を乗せ180度回転した場所に置き、雪のある場所に戻るという1往復) にかかる時間は一定とする。シミュレーションした結果1かき (1往復) 6秒とする。→1分あたり10かき
- ・ 雪かきにかかる時間 (分) = 仕事量 (積雪量) ÷ 1分間あたり除雪量

⇒降り続く雪による積雪増加量は3,000 cm³

(1時間あたり6 m²×3 cm=180,000 cm³ →1分あたり180,000 cm³÷60分)

⇒除雪による積雪減少量は36,000 cm³

(1分あたり3,600 cm³×10かき=36,000 cm³)

⇒除雪作業中の積雪は毎分33,000 cm³ずつ減少していく。

(2-2) 雪かきをした後の道路について

雪かき範囲としている自宅前道路はアスファルトでできている。経験上、アスファルトの上に雪は積もりにくいように思う。調べてみると、

- ・ アスファルトはあたたかいから (熱容量が大きく熱伝導率が高い)。
- ・ アスファルトの上の雪は溶けても地面から吸収されにくく表面に残り、その水が更に雪を溶かすから。

という理由から、アスファルトの上に雪は積もりにくいようだ。

よって、一度雪かきをしてアスファルトの路面が露出すると、その上に雪は積もりにくくなっていると考えられるため、降った雪がアスファルトの路面状で溶けてしまい積雪しない時間を考慮に入れたい。

濡れた路面に雪が積もる条件は、路面の水の温度が冷たい外気や多量の降雪によって0度以下になる場合である。今回の研究では、過去の記憶を参考に、雪かき後1時間は積もらないものとして考えることとする。

(3) 雪かきを始めるタイミングを変え、かかる時間と労力の違いを調べる

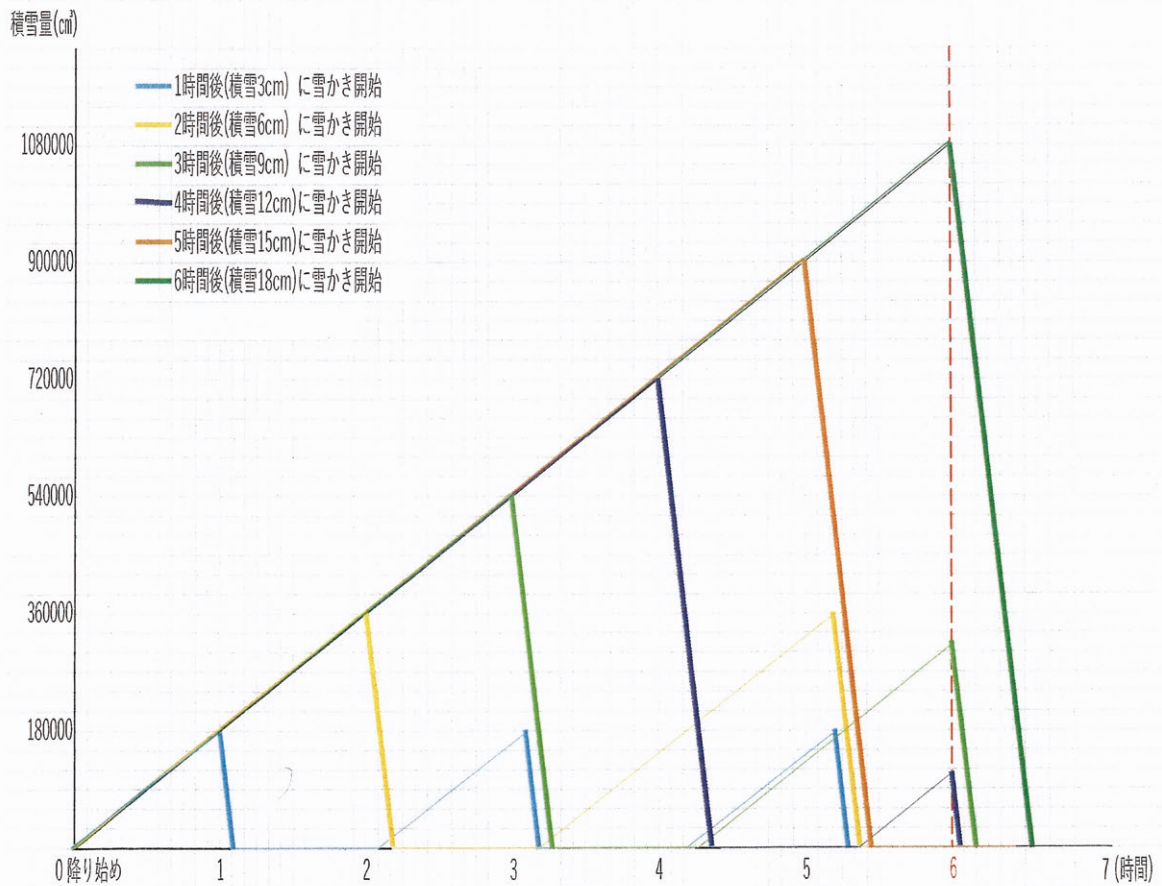
- ・ 雪かきを始めるタイミングは、1時間後 (積雪3 cm→6 m²×3 cm=180000 cm³)、2時間後 (積雪6 cm→6 m²×6 cm=360000 cm³)、・・・6時間後 (積雪18 cm→6 m²×18 cm=1080000 cm³) と変えていく。雪かき後、再度同量の積雪に達したときにまた雪かきを再開する。

・雪は6時間連続して降り続けるが、雪かき後1時間は路面の水で雪は溶け、積もらないものとする。

《表》にすると、下記のとおりである。

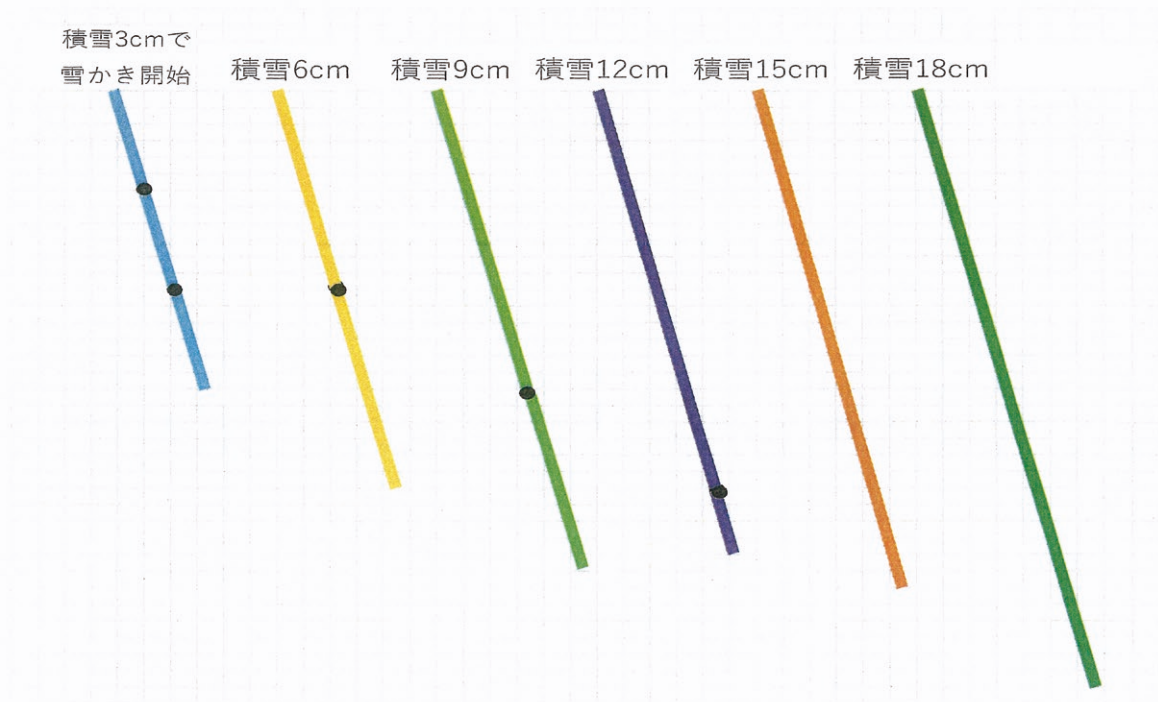
| 雪かき開始時間 | 1時間後 | 2時間後 | 3時間後 | 4時間後 | 5時間後 | 6時間後 |
|---|---|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 開始時の積雪 (cm) | 3 | 6 | 9 | 12 | 15 | 18 |
| 開始時の積雪量 (cm ³) =敷地6m ² (60000cm ²)×開始時の積雪(cm) | 180000 | 360000 | 540000 | 720000 | 900000 | 1080000 |
| 除雪作業中 | 1分あたり33000 cm ³ ずつ積雪量減少 | | | | | |
| 雪かき時間 (分) | 180000÷33000 =60/11 (約5.5分) | 360000÷33000 =120/11 (約10.9分) | 540000÷33000 =180/11 (約16.4分) | 720000÷33000 =240/11 (約21.8分) | 900000÷33000 =300/11 (約27.3分) | 1080000÷33000 =360/11 (約32.7分) |
| 雪かき後 | 1時間は降雪が路面で溶け積もらない。1時間後積もりはじめる。 再度開始時の積雪になったら雪かきをはじめ。 | | | | | |

《グラフ》にすると、



太線部分が雪かきをしている時間である。

雪かき時間を合計すると、下記のとおりである。



3 研究の結果と考察（まとめ）

・雪かき時間の合計は

①積雪3cm：約5.5分×3回＝約16.5分

②積雪6cm：約10.9分×2回＝約21.8分

③積雪9cm：2回目の雪かき時の積雪量について、積もり始めるのは、最初の降り始めから

3時間＋約16.4分＋1時間＝約4時間16.4分 経過後なので、降り続く6時間経過時までには降り積もった2回目の積雪量は

1分あたり積雪量 $3,000 \text{ cm}^3$ × (6時間－4時間16.4分)

$$= 3,000 \text{ cm}^3 \times 103.6 \text{ 分}$$

$$= 310,800 \text{ cm}^3$$

よって、2回目の雪かき時間は、

$$310,800 \div 33,000 = \text{約}9.4 \text{ 分}$$

雪かき時間合計は、約16.4分＋約9.4分＝約25.8分

④積雪12cm：③と同様に計算すると、2回目開始時の積雪量は、

1分あたり積雪量 $3,000 \text{ cm}^3$ × (6時間－5時間21.8分)

$$= 3,000 \text{ cm}^3 \times 38.2 \text{ 分}$$

$$= 114,600 \text{ cm}^3$$

よって、2回目の雪かき時間は、

$$114,600 \div 33,000 = \text{約}3.5 \text{ 分}$$

雪かき時間合計は、約21.8分+約3.5分=約25.3分

⑤積雪15cm：約27.3分

⑥積雪18cm：約32.7分

- ・積雪が少ない段階で雪かきを始めた方が、雪かきの合計時間は短くなること
がわかったので、少ないうちにこまめに雪かきするのがよいと考えられる。
- ・しかし、積雪3cmで雪かきを始めることとすると、3回も雪かきに出なければ
ならず、回数が多い。また、現実的に考えても、積雪3cmであれば雪かきし
なくても支障なく外出できるため、積雪6cmが雪かきをはじめると良いタイ
ミングであると考えられる。

4 感想と今後の課題

積雪にも種類があり、雪質によって、重さはかなり違うということがわか
った。積雪量は、降った量がそのまま積雪の増加となるのではなく、気温や降
水量などによって溶けたり、圧縮されたりして減少した分も考慮する必要があ
り、気象予報では細かな状況まで反映して予報を出していることも知り、すご
いと思った。

今回は、雪は6時間降り続くものとし、降り始めてから1日以内に雪かきを
はじめるものとして、新雪を対象とした。また、アスファルトには雪が積もり
にくいことから、除雪後1時間は積もらないこととした。しかし、現実には、
雪がもっと長く降り続いたり、新雪が気温や降雨により圧縮された後さらにそ
の上に積もったりするなど、様々な状況があり得る。日中は太陽光で溶けた
り、夜は凍って氷になったりもして、単純に計算することはできない。

今後の課題として、さらに時間が経過した後の雪の状況や降雪のパターンな
ど様々な条件を計算式に入れる方法を考えてみたい。また、この冬雪かきをす
る際に実際に確かめてみようと思う。

(参考文献)

- ・ SNOWNOTES “雪の重さはどのくらいなのか：屋根の雪の重さや雪質について考える” 2022-12-21 <https://snownotes.org/snow-weight/>(参照 2023-8-3)
- ・ 日本雪氷学会 “積雪分類の用語集”
<https://www.seppy.org/~hokkaido/nomen/nomen-a.html> (参照 2023-8-3)
- ・ 日本雪氷学会 “降・積雪の性質と雪崩の発生” 2018-1-18
https://web.seppy.org/~nadare/28th_textppt.pdf (参照 2023-8-3)
- ・ ウェザーニュース “積雪深と降雪量の違い「予想される降雪量 120cm」の正しい意味は” 2020-12-30 <https://weathernews.jp/s/topics/202012/300125/>
(参照 2023-8-3)
- ・ 気象庁 “解析積雪深・解析降雪量、降雪短時間予報”
<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/now/kurashi/show.html> (参照 2023-8-3)
- ・ 気象庁 “過去の気象データ検索” <https://www.data.jma.go.jp/> (参照 2023-8-3)
- ・ 武和道路株式会社 “ご存じですか？道路に雪が積もらない理由” 2022-12-23
<https://takewa-douro.com/archives/1422> (参照 2023-8-3)
- ・ 水文・水資源学会誌第5巻4号(1992) “舗装面の熱収支と蓄熱特性について” https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjshwr1988/5/4/5_4_3/_pdf (参照 2023-8-3)