

- American Ski Company.
- Niven, C.D., 1959: A proposed mechanism for ice friction. *Can. J. Phys.* **37**, 247-255.
- Rosenbarg, R., 2005: Why is ice slippery? *Physics Today*, Dec. 50-55.
- 対馬勝年, 1976: 氷の摩擦機構について. *潤滑*, **21**, 287-294.
- 対馬勝年, 1977: 単結晶氷の摩擦に関する研究 I ~ III. *低温科学, 物理篇* **35**, 1-46.
- 対馬勝年, 1978: 単結晶氷の摩擦 III. *潤滑*, **23**, 728-733.
- 対馬勝年, 1980: プラスチック球と単結晶氷の摩擦. *潤滑*, **25**, 450-457.
- 対馬勝年, 2006: スケートはなぜ軽快によく滑るのですか. *雪氷*, **68**, 218-220.
- 対馬勝年・木内敏裕, 1998: 高速スケートリンクの開発. *雪氷*, **60**, 349-356.
- 対馬勝年・結城匡啓・木内敏裕・下平昌兵, 2000: 氷結晶面コントロールによる高速スケートリンクの開発. *トライボロジスト*, **45**, 72-78.
- ウェットラウファー, J.S.・ダッシュ, J.G., 2000: 氷表面の謎を解く. *日経サイエンス*, 4月号, 52-55. (編集部訳, 監修古川義純)
- Weyl, W.A., 1951: Surface structure of water and some its physical and chemical manifestation. *J. Colloid Scie.*, **6**, 389-405.
- 吉田順五, 1971: 雪の科学. *NHK ブックス* **136**, 158-176.

(2009 年 11 月 5 日受付)

市民科学活動と研究者との橋渡し

河村 俊行

1. はじめに

猪苗代湖で毎年のように観察される「しぶき氷」と「団子氷」に関する論文が *Journal of Glaciology* の最新号 (Vol. 55, No. 193) に掲載されました (Kawamura *et al.*, 2009). この研究は、樋口敬二氏が提唱される「市民科学活動と研究者との橋渡しに学会が果たす役割」(樋口 2006b) の好例と思われますので、その研究の経緯と結果の概要を想い出話とともに書かせていただきます。

<「しぶき氷」は岸に降り注いだ波のしぶきが凍結したもので>, 木々に凍着して巨大なモンスターのような形状となる。なお、東海林 (1982) は屈斜路湖での小規模な同様の氷を写真に収めている。一方、<「団子氷」は「大きなものはラグビーボール大で、小さなものはテニスボール大、これが全部、球に近い」真ん丸な氷で、それが湖面を覆いつくして漂い、岸边に打ち上げられる> (樋口, 2006b) ものである。

2. 研究のきっかけ

2006 年 4 号の新刊紹介で、樋口氏が写真集「しぶき氷-猪苗代湖・不思議な氷の世界」(小荒井, 2006) を取り上げ、特に“Interesting な現象”として「団子氷」を紹介していた。その中で「市民

科学活動と研究者の橋渡しの役目を果たすのが、日本雪氷学会のひとつの使命ではないか」と提唱し、この本の紹介の目的を「市民が発見した雪氷現象を研究者に知っていただき、現象解明の端緒としたいと考えた」と述べられた。さらに<本書によって一人でも多くの会員が「結氷と降雪」という雪氷相互作用に関心を深め、研究が進むことを期待している>と記していた。

私はこの記述を、<「結氷と降雪」という雪氷相互作用>を研究する関係者への問いかけ(挑発?)と受け取った。そのころ私は専門研究分野の 1 つを、流行の“相互作用”という言葉を入れた「雪氷相互作用」としていたので、まさに私が指名されたとも捉えた。さらに最近の若い人は“Important な研究”に忙しく、私は定年を近くに控え、“Interesting な研究”が可能な立場にあったので、私がやらなきゃ誰がやる…(やらざるをえない)と思った次第です。なお「Important な研究と Interesting な研究」については、樋口 (2006a) を参照してください。

3. 観測

早速同書を購入し、その見事な写真に感動した。そこで著者である小荒井実氏に連絡を取り、

2006 年秋に予備観測として発達地点の調査や観測方法の検討を行った。

そのとき小荒井氏とはすぐに打ち解け、初対面にもかかわらず自宅に泊めていただき、飲みながら談笑した。氏は大変好奇心旺盛の方で、植物の造詣が深く（学名に氏の名がついている植物がある）、山・雪崩・雪形についての知識も豊富で、次から次へと興味ある話を伺うことができた。しぶき氷の発達地点は冬の主風向の風下にあたる北東岸の天神浜の狭い区域にあること、この頃から観光地化し、シーズンの週末には多くの人が訪れることも聞いた。最近では「しぶき氷」や「団子氷」に似せた菓子も売られているほどです。

予備観測にはその年の 4 月から郡山にある日本大学工学部に赴任し、猪苗代湖を研究対象とし始めた若林裕之氏に同行していただいた。そしてこの時から彼を共同研究者の 1 人として取り込んだ。また近辺の土地の所有者である(株)あいづダストセンターの一重卓男社長および社員の方々には、観測の便宜を与えていただいた。

2007 年のしぶき氷の発達を心待ちにしたが、小荒井さんからは「成長した。観測に来てくれ」というゴーサインがなかなか来なかった。結局この年は例年になく暖冬で、残念ながらしぶき氷の発達は極めて貧弱だった。しかし、そのお陰で、対照年として後述のしぶき氷発達の気象条件を知るとよい機会となった。

翌 2008 年には年始から発達を始め（このとき共同研究者の尾関俊浩氏が観測。図 1）、1 月末には例年以上に発達しているとの連絡を受けたので、1 月 31 日から 2 月 1 日に観測にでかけた。そこで見事なしぶき氷に出会い（図 2）、よいサンプルとデータを得ることができた。

団子氷については、写真集で示されている湖水に浮かび漂流しているものはなかったが、沿岸に打ち上げられたものがたくさんあった。これらは雪に覆われていたため見落すところを、慣れている小荒井氏の足裏の感触から見つけることができた。

4. 発表

同年秋の雪氷研究大会で発表したところ（河村ら、2008）、樋口氏から賞賛のお言葉をいただき、



図 1 発達初期のしぶき氷（2008 年 1 月 5 日尾関俊浩氏撮影）。背景は猪苗代湖と磐梯山。



図 2 発達最盛期のしぶき氷（2008 年 1 月 31 日撮影）。

大変嬉しく思ったことを、その賛辞とともに今でも鮮明に覚えている。当初は学会発表で終える予定だったが、賞賛を得て発表だけではもったいない気がしたこと、同様な現象の発見のきっかけになれば幸いと気持ちで、世界に発信すべく *Journal of Glaciology* に投稿した。遊び心旺盛な（“Interesting な”）論文ゆえ、その延長で受付日が珍しい日となるよう 2009 年の元旦に原稿を送った。

査読では 1 人の referee は「そのまま掲載可」だったが、他の 1 人が以下の理由で full-length paper でなく、Letters to editor (Correspondence) なら OK との判定だった。

- 1) 1 年だけの調査では再現性が弱い（実際は毎年起こっているが）
- 2) 雪の寄与の見積もりに疑問あり（同位体比を用いて雪ごおり (snow ice) の中の積雪の寄与を

見積もる方法は、海水の世界では常識だが)

それに対して反論したが、まったく理解されなかった。しかし掲載されることが最終目的なので、やむなく同意した。内容的にも雪の寄与の見積もりを削除し、長さも半分程度にしての受理となった。しかし Correspondence には異例の長さ (4 ページ) は認めてもらえた。再投稿のため受付番号はその年の 1 番で変わらなかったが、受付日は 9 月 11 日と良い日でなく、これも残念だった。

5. 結果の概要

以下に観測結果の概要を示す。詳細は論文 (Kawamura *et al.*, 2009) を参照してください。これは国際雪氷学会 (IGS) のウェブサイトでも見ることができる。

しぶき氷の結晶構造には以下の 2 種類あり、1 つのサンプルに共存していることが分かった (図 3)。

- A) 1 つは直径 1–5 mm で粒状の均一な構造であった。
- B) もう 1 つは中心から放射状に伸びる柱状の構造であった。

前者 A) は海水の雪ごおりの構造に極めて似ている。雪ごおりは海水上の積雪の重量により海水が沈下し、積雪の中に海水が浸み込んだシャーベット状のものが再凍結してできる。したがって、粒状のしぶき氷は雪にしぶきの飛沫が浸み込んで、再凍結した水といえる。後者 B) はつららの構造と酷似しているので、このしぶき氷はつららと同様の過程で形成されると結論できる。つまり結氷温度近傍のしぶきが流下する間に水膜が凍結したものである。

しぶき氷のサンプルの積雪の寄与率 (重量比) は、サンプル自身および湖水と積雪の同位体比から見積もることができる (たとえば Jeffries *et al.*, 1997)。その結果から柱状氷の寄与率 (約 20%) よりも粒状氷の方 (約 40%) が大きいことが分かった。どちらの構造になるかは積雪の割合によると思われる。なお上の数値は水から氷に相変化する時の分配係数 (fractionation factor) の取り方によって変わる (ここでは 3‰ と仮定した)。

団子氷は径 1–2 mm の粒状の均一な結晶からできているが、その方向性はない (図 4)。湖水が静



図 3 しぶき氷の水平断面の薄片偏光写真。サンプルの横幅は 8 cm である。

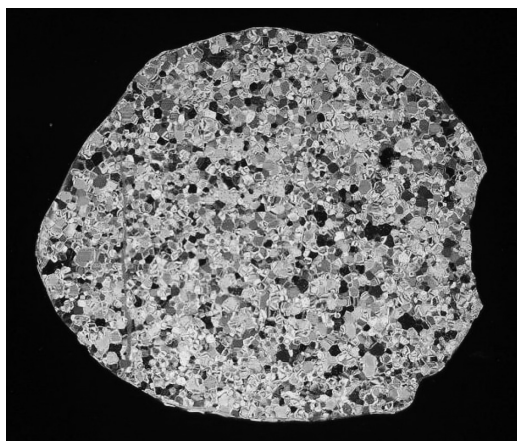


図 4 団子氷の薄片偏光写真。サンプルの直径は 7 cm である。

穏な条件で成長するならば、鉛直方向へ伸長した結晶が見られるはずである。団子氷は約 30% の積雪を含んでいた。上記の水の構造・雪の寄与と気象条件から、団子氷は湖の上に降った雪が湖水と混合しシャーベット状になり、波浪に揉まれて丸く固まった水であると推察される。観測された団子氷は風波によって岸に打ち上げられたものである。

団子氷と同様の大きさの水球がオホーツク海の水面に漂っているのを、下田春人氏が 1992 年に観測していた (下田, 私信)。彼らの 10 年以上にわたる観測で、たった 1 度だけごく限られた海域で遭遇した珍しい現象であったとのこと。それらは海水分類の中の shuga と類似の形状と大きさを持っていた。また Eisen *et al.*, (2003) は、ドイツ

の北方の北海沿岸で直径約 25 cm の ice ball を多数発見した。彼らはその形状と密度測定の結果を示し、気象と潮汐から形成過程を推測している。

前述のように 2006-07 年のしぶき氷の発達には乏しかった。一方、2007-08 年にはしぶき氷は顕著に発達した。2006-07 年の風速は 2007-08 年と同程度の強さであった。また強風時の風向は兩年とも岸に直交する西北西が主であった。しかし 2006-07 年の気温は氷点下に下がることは稀であったが、2007-08 年は氷点下の気温が続いた。したがって、しぶき氷の発達には強風と低温の両方の条件が必要であることが分かった。

6. おわりに

市民が発見した「しぶき氷」と「団子氷」の構造や形成過程を解明することができた。しかし、発達の推移はビデオカメラまたはコマ撮りカメラの導入を検討したが、カメラへのしぶき自身の付着や観光客のいたずら防止等の問題により、宿題として残っている。また写真集「しぶき氷」に記載されている「白糸氷」については、稀有な現象ゆえその形成機構は未解決である。

そのほか市民が発見した興味ある雪氷現象はまだあると思われる（たとえば樋口, 2006a）。それに科学的なメスを入れることも可能である。ときには“Interesting な研究”もいかがだろうか。

小生の研究生活の最後にたいへん“Interesting”で貴重な体験ができ、思い出となりました。嬉しく思っております。

文 献

- Eisen, O., Freitag, J., Haas, C., Rack, W., Rotschky, G. and Schmitt, J., 2003 : Bowling mermaids ; or, How do beach ice balls form? *J. Glaciol.*, **49**, 605-606.
- 樋口敬二, 2006a : Interesting な研究と Important な研究, *雪氷*, **68**, 51-54.
- 樋口敬二, 2006b : 写真集「しぶき氷—猪苗代湖・不思議な氷の世界」, *雪氷*, **68**, 349.
- 河村俊行・若林裕之・尾関俊浩・小荒井実, 2008 : 猪苗代湖のしぶき氷と団子氷の観測. *雪氷研究大会* (2008・東京) 予稿集, 198.
- Kawamura, T., Ozeki, T., Wakabayashi, H. and Koarai, M., 2009 : Unusual lake ice phenomena observed in Lake Inawashiro, Japan : spray ice and ice balls. *J. Glaciol.*, **55**, 939-942.
- 小荒井実, 2006 : 写真集「しぶき氷—猪苗代湖・不思議な氷の世界」, 福島, 歴史春秋社, 119 pp.
- Jeffries, M.O., Worby, A.P., Morris, K. and Weeks, W. F., 1997 : Seasonal variations in the properties and structural an isotopic composition of sea ice and snow cover in the Bellingshausen and Amundsen Seas, Antarctica. *J. Glaciol.*, **43**, 138-151.
- 東海林明雄, 1982 : 氷の世界, 東京, あかね書房, 52pp.
- (2009 年 11 月 28 日受付)