

## 湖氷内の垂直温度勾配による微小クラックの発生に就いて

### About outbreak of a minute crack by a perpendicular temperature gradient in lake ice

東海林明雄<sup>1</sup>

Toukairin Akio<sup>1</sup>

Corresponding author: toukairin103@yahoo.co.jp

最近、湖氷内の垂直温度勾配により微小クラックが発生し、御神渡り現象の発生が起るとする論文（浜口 2009）<sup>1</sup>が発表された。この考えは、地球表面プレート<sup>2</sup>の水平方向への成長による、地震発生<sup>3</sup>のモデルと相似の考え方として、湖氷プレートの地震モデルへの応用の観点から魅力的な考え方と思われる。しかし、観測データを調べた結果、そのような垂直温度勾配による微小クラックは発生していないことが分った。この結果は、高橋と若浜（1975）<sup>2</sup>の研究に一致する。

#### 1. 研究の背景

御神渡りの隆起は「氷板の熱膨張による」とする成因論が「通説」<sup>5),9),10)</sup>として、一世紀に亘って踏襲されて来た。しかし、浜口<sup>1</sup>は、この通説を観測データによらない観察のみによる推論であるとして、新しい成因論を提起した。それによると、御神渡りの隆起は、湖氷内の垂直温度勾配により亀裂が発生し、そのクラックへ侵入した湖水の「水から氷への相転移時の体積増加を原因とする」としている。そこで、図1のA-A'面下部に示されるような、微小クラックの発生の有無を調べる必要が生じた。

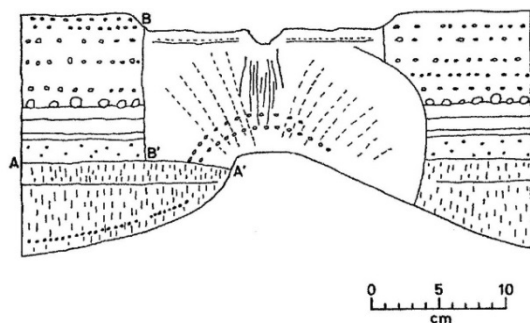


図1 「リッジ型割れ目の走行に直交して切り出した氷板の断面図のスケッチ(1975年2月15日) 上層部の丸印は気泡、下層の小さな縦線は微小クラック中で凍結した氷、リッジ直下の長い縦線は大きなテンサイル・クラックを示す。下部の微小クラックを多数含む2層はリッジ型割れ目の後に形成され A-A' 面に沿って図中左から右へスリップしている。これは下層部分が横方向に成長したものであることを示唆する。」という説明文入りの浜口博士による、諏訪湖氷断面のスケッチの図。「浜口博之 2009: 諏訪湖「御神渡り」成因論再考。地震ジャーナル, 47号」より転載。

#### 2. 観測

##### 2. 1 屈斜路湖

全面結氷後、図2のような幅の広い亀裂が一本又は、年によっては数本できる。また、図3のような中小幅の亀裂は湖面の至る所に縦横無尽にできる<sup>9),10)</sup>。これらの、大中小幅の亀裂は、氷板の温度低下による収縮によってできるもので、図1に示されている、湖氷内の垂直温度勾配による「微小クラック」とは成因を全く異にする。図6と7および、図10~12は断面観測の結果で、氷板の下部に、微小クラックの発生のないことを示している。



図2 屈斜路湖の砂湯沖の大収縮亀裂（亀裂巾1.2m）この亀裂から御神渡りが成長する。

<sup>1</sup> 湖沼雪氷研究所

Snow and Ice Research Institute of Lake



図3 透明氷（真氷）の表面に、縦横無尽にできる中小幅の亀裂、この亀裂も御神渡りの成長に貢献する。



図4 発現直後の御神渡し

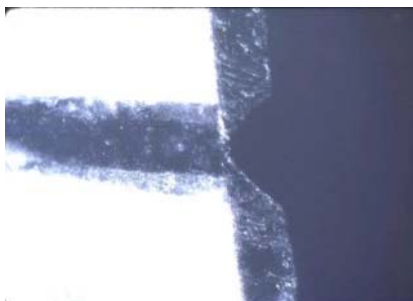


図5 凍結した大亀裂の断面、右側の氷板をカットして水面を透して亀裂断面の水中構造を見ている。氷厚約 25 cmで、亀裂断面の水中のアーチ型構造の輪郭が見えている。



図6 亀裂断面のアーチ型構造、氷板下部は透明であり図1に示されているような「微小クラック」は存在していない。

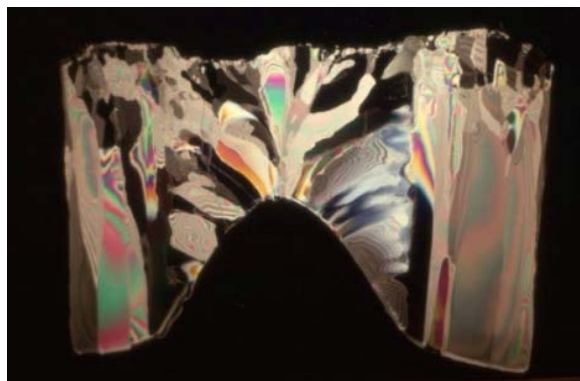


図7 亀裂断面の結晶構造（偏光写真）、亀裂発生後の新生氷の結晶の成長方向もわかる。



図8 屈斜路湖の池の湯沖に於ける湖水の断面採取位置と湖表面の状況（2019年4月1日）

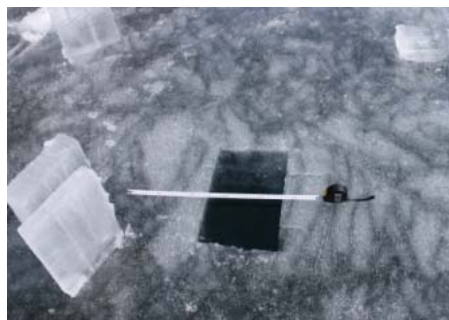


図9 屈斜路湖のブロックアイスの結晶構造の領域の湖水の断面サンプル採取、採氷孔周りの真氷表面が、絨毯の模様の様に見えるのは、この領域が、ブロックアイス<sup>3)</sup>の結晶構造であることを示し、それぞれの模様の部分が一つの単結晶である。これは、直径5～30 cm位の柱状の氷単結晶によることを示し、単結晶内にできている多数の空像（vapor figure）<sup>3)</sup>による日光の反射により、この様な絨毯の模様になる。

（2019年4月1日和琴半島沖）

## 2. 2 諏訪湖

図 15 と 16 は断面観測の結果で、微小クラックの発生が無いことを示している。

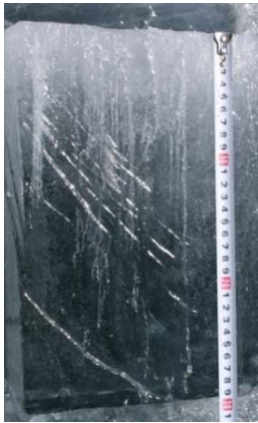


図 10 図 9 にて採氷した氷の断面，斜めのラインは、採取時のチェーンソウの鋸跡であり，結晶境界の融解ライン以外，微小クラックの存在は認められない．この部分は，ブロックアイス<sup>3)</sup>の結晶構造の部分である．  
(2019 年 4 月 1 日和琴半島沖採氷サンプル)



図 11 図 8 の領域の氷の断面，多重の気泡層を含む領域の例であるが，結晶境界の融解ライン<sup>3),4)</sup>以外，微小クラックの存在は認められない．  
(2019 年 4 月 1 日池の湯沖採氷サンプル)



図 12 図 8 と同じ氷の断面，氷厚約 22.5 cm の氷板上部の結晶構造をみているが，この場合キャンドルアイスの結晶構造<sup>3)</sup>を示している．(2019 年 4 月 1 日池の湯沖採氷サンプル)



図 13 諏訪湖，舟渡川河口付近の湖面に於ける，八剱神社の方々による，氷厚測定と採氷作業．  
(2018 年 2 月 15 日)



図 14 諏訪湖，舟渡川河口付近の湖面に於いて発生した亀裂．  
(2018 年 2 月 15 日)



図 15 諏訪湖，舟渡川河口付近の湖面に於いて採取した，湖水サンプルの断面下部の偏光写真，水平縞は気泡層である．微小クラックの存在は認められない．  
(2018 年 2 月 15 日採氷サンプル)





図 16 諏訪湖，舟渡川河口付近の湖面に於いて採取した，湖氷断面の偏光写真，この場合キャンドルアイスの結晶構造<sup>3)</sup>を示している．微小クラックの発生は認められない．

(2018 年 2 月 15 日採氷サンプル)

### 2. 3 その他の湖

筆者は，40 年に亘り，毎冬の結氷期に塘路湖，摩周湖，春採湖そして阿寒湖に於ける氷上観測も行ってきた（東海林：1977，2003，2018）<sup>3), 9), 10)</sup>．その間，しばしば，大中小の亀裂の形成過程を観測できた．しかし，微小クラックの発生はなかった．

### 3. 観測結果

筆者の観測では，微小クラックの発生は認められなかった．これは，亀裂の発生を起こすのに十分な温度勾配に達しないためと考えられる．これは，高橋と若浜（1975）<sup>2)</sup>の研究と一致する．また，底面付近に於いては，融点に近付くため，氷の塑性的性質<sup>2)</sup>が顕著になることもある．従って，図 1 の，A-A' 面下部に示されているような微小クラックの発生は一般的には起らないと考えられる．

ただし，湖氷の真氷内部に何らかの像が現れる例としては，気泡以外に，キャンドルアイスの結晶境界（東海林，1979）<sup>3), 4)</sup>，煙層（中谷，1958）<sup>13)</sup>等（チンダル像，空像）が考えられる．図 1 の微小クラック痕の間隔は，2 cm 前後と推測されるため，一つの考えとしては，細管状の気泡または，キャンドルアイスの結晶境界の融解再凍結痕の可能性が考えられはしまいか．何れにしても図 1

のみからの推定は困難である．

浜口説（2009）では，「御神渡り」の発生は，氷板下部の微小クラックに浸透した水が氷へと相転移しそれに伴う体積の増加が主な要因である」としているが，その様な微小クラックの発生はないことが分かった．また，仮に，微小クラックの発生があったとしても，そのクラックに侵入した湖水の凍結は亀裂の上方から起こり下方に向うため，相変化による体積増加分の水量は，最後に凍結する氷板底の開口部から湖水中に流出することになり，密閉凍結による圧力の上昇は起らず，氷板の破壊に寄与しない．従って，御神渡りの発現にも寄与しないことになる．

微小クラックの発生はないことを明らかにしてきたが．このことは，湖水モデルのプレートテクトニクスへの応用的価値<sup>7), 8)</sup>を減少させるものではなく，今後，御神渡り現象の形成機構の解明<sup>11)</sup>が進むことにより，その重要性はより増して行くものと考えられる．

### 【参考文献】

- 1) 浜口博之 2009: 諏訪湖「御神渡り」成因論再考．地震ジャーナル，**47**号，58-64.
- 2) 高橋徹，若浜五郎 1975: 氷の熱応力の測定．低温科学，**33**，29-37.
- 3) 東海林明雄，1977: 湖氷（沈黙の氷原・ミクロとマクロの謎）．講談社，103pp.
- 4) 東海林明雄 1979: 氷の融点に於ける粒界三又交線での水脈の発達．雪氷，**41**（2），121-130.
- 5) 東海林明雄，1980: 日本最大の御神渡り．サイエンス，**10**(12)，46-48.
- 6) 東海林明雄，1989: 屈斜路湖・日本最大の御神渡り．科学朝日，**49**(3)，116-117.
- 7) Akio Toukairin, Fumihiko Nishio and Motoki Sakai, 1993: Similarity between Thermal Ice Ridge and Plate Tectonics. *Proceedings of The Eighth International Symposium on Okhotsk Sea & Sea Ice*, **Vol. 8**, 481-492.
- 8) Akio Toukairin and Fumihiko Nishio, 1994: Application of Thermal Ice Ridge (OMIWATARI) Studies to the Earth and other Planets. *Proceedings of The Ninth International Symposium on Okhotsk Sea & Sea Ice*, **Vol.9**, 295-300.
- 9) 東海林明雄，芥川義行，水越武，2003: 列島探訪（屈斜路湖の御神渡りの音）．*National Geographic*，**9**(1)，20-23.
- 10) 東海林明雄，2018: 氷の世界．あかね書房，新装版（改訂第11刷），54pp.
- 11) Akio Toukairin, (2020): A formation process of thermal ice ridge. *Proceedings of The 34th International Symposium on Okhotsk Sea and Sea Ice*, **34**, 208-213.
- 12) 中谷宇吉郎 1958: 北極の氷．宝文館．172pp.