最近の研究から

ピンポン球なだれについて¹⁾

納 口 恭 明²⁾

1. まえがき

「雪のないとき、何を研究しているのですか？」という類の質問を、雪氷研究者ならこれまで何度となく受けているはずである。今回ここで紹介するピンポン球1万个を使った「ピンポン球なだれ」は、雪のないときに実施されている雪を使わない模擬雪氷研究の1例である。

2. ピンポン球なだれとは

自然界には通常の雪崩の他、岩石なだれ、氷河なだれなど、雪以外の物質に対してもそれら粒子の集団が重力の作用で斜面上を流れ下りる現象を「・・・なだれ」と呼ぶことがある。この意味で、斜面上をピンポン球の集団が流れ下りる現象を「ピンポン球なだれ」と呼ぶことにする。ここであえて平仮名で「なだれ」と表記したのは、雪のなだれ、すなわち「雪崩」と区別するとともに、このような現象を総称的に表すためである。

ピンポン球なだれは、その構成粒子であるピンポン球の均一さ、付着性のなさ、適度な大きさ、その軽さを考慮すると、実験や観察を行ううえで雪崩と比べてたいへん扱い易いなだれといえる。

ところで、雪崩研究者が本当の雪崩を観測する機会はいへんまれである。ちなみに著者自身、自然発生の雪崩は1度しか見たことがなく、人工的に発生させた雪崩を含めても比較的大型の雪崩を目視した回数は5回を超えない。これは単に自然の雪崩が気まぐれであり、危険がいっぱいの扱いにくい対象であることに他ならない。

そこで、ここではあえて気むずかしがり屋の雪崩には横によけてもらって、なだれ現象の共通基盤的な性質を知るうえで最も取り扱いの容易なピンポン球なだれの実験およびそれから得られた知見について紹介する。

3. なぜピンポン球なのか

ピンポン球というと、他の球技で使われるボールと比べて軽いというのが何といっても大きな特徴である。実際、硬式球1個は質量2.5g、直径3.8cmであり、平均密度に換算すると 0.087g/cm^3 、最密充填の場合のかさ密度にして 0.064g/cm^3 となる。この値はまさに、降り積もったばかりの最も軽い新雪の密度に相当する。

密度が小さいということは、自然界のなだれでは決してできないようなこと、すなわち研究者自らがなだれを頭から浴びてみるという疑似体験を可能にする。また物理的な特徴としては、重力に対する空気抵抗効果が相対的に大きい、すなわち空気中での重力落下の終速度が小さいため（鉛直風洞で求めた落下の終速度は約 7.5m/s ）、比較的短い時間で空気抵抗とバランスした定常もしくは準定常な状態に到達することができる点である。言い替えるとピンポン球なだれは、空気抵抗の効果が支配的な粒子群の運動挙動を調べるための理想的なモデル物質といえることができる。

また、ピンポン球は形が均一な球形であり、付着性がないため、集団としてはたいへん流動性に富んでいる。言い替えると自分自身の集団としての形を容易に変えることができる粒子群といえる。回転法によって安息角を求めると約25度となる。すなわち、空気抵抗がなければ、25度以上の斜面ではピンポン球の集団は粒子1個の厚さになるまで常に崩れようとする傾向を持つことになる。

われわれは、日常の経験から人間のスケール程度の粒子集団のなだれの様子は、定量的にはともかく、定性的には予想がつくものと思いがちである。例えば、インスタントコーヒーの粉を机の上にぶちまければどんな風になるかはほとんど常識的といっても過言ではない。では、数十メートルの斜面を数万個のピンポン球が流れ下るとどうなるかと言われると、さて人間スケールの日常経験で済ませられるのかどうかさがさだかではない。もちろん、その延長線上には雪ではどうかという究極の設問につながっていくのであるが、基本的には本研究ではピンポン

1) Ping-pong avalanches

2) 防災科学技術研究所 長岡雪氷防災実験研究所
〒940 新潟県長岡市栖吉町前山187-16
(Yasuaki NOHGUCHI, Nagaoka Institute of Snow
and Ice Studies, NIED, Suyoshi, Nagaoka 940,
Japan)

球なだれそのものの解明に主眼をおく。これは、最も安全、単純なピンポン球なだれを科学的に説明することができずに、さらに複雑な自然界の雪崩を説明することはできないであろうとの考えによるものである。

4. ピンポン球1万個のピンポン球なだれ

ピンポン球を使ってなだれ実験を行うというアイディアは新庄雪氷防災研究支所の小杉ら（平成5年度日本雪氷学会全国大会）によって初めて実行に移された。図1は同支所の傾斜30度、幅1m、斜面長約20mの雪崩シュート上のピンポン球1万個によるピンポン球なだれの様子を示している。

この実験では、ピンポン球集団の先端はクリアーに立ち上がり、先端の速度が約8m/sで、このシュート上での単独のピンポン球1個の終速度の約2倍の大きさとなった。これに対して、集団の末尾付近では常に先端速

図1 まさにピンポン球なだれに襲われる瞬間
(1992年11月新庄雪氷防災研究支所雪崩シュート)

図2 40度斜面上でのピンポン球なだれの縦断面形状
(1993年9月森林総合研究所十日町試験地)

度よりも遅く、ばらばらとピンポン球の散乱した状態で集団全体としては延びていく傾向にある。この形態的特徴は、単独よりも集団の方が空気抵抗の効果が相対的に小さいために速度が大きくなるという事実が支配している。すなわち、先頭集団からピンポン球が単独で抜け出そうとしてもすぐに集団に飲み込まれて抜けられないのに対して、集団の末尾で取り残されるとします、集団から離されていくためである。

その後、ピンポン球なだれは農林水産省森林総合研究所十日町試験地の遠藤らによってさらに急傾斜の斜面(40度)において行われている。図2はこの時のピンポン球なだれの縦断面形である。この形状は、頭部(head)、本体部(body)、尾部(tail)からなっており、雪煙をもくもくと巻き上げて流れ下る超大型の煙型雪崩に対する重力流のモデルではよく知られている形態に酷似していることがわかってきた。これは、ピンポン球なだれにおいても流れ型雪崩と煙型雪崩とに対応する相似現象が存在することを意味する。

5. 本当にピンポン球なだれは安全か

ところで、始めにピンポン球なだれの特徴の一つとして危険がなく、研究者自らなだれに巻き込まれることができる書いたが、これは本当であろうか。ピンポン球の集団のかさ密度が新雪の密度に相当するというとずいぶん軽いという印象を持つが、その一方で、大量の降雪にともなって発生する新雪雪崩は大型の煙型雪崩と同義的に使われることもあり、たいへん危険な雪崩の一つである。要するに、危険かどうかは、速度がどの程度に達するかにかかっている。

空気抵抗が支配的な現象では粒子群の形状と量がその速度を支配しており、量が多くなるにつれて速度スケールも大きくなる傾向にある。ピンポン球1万個では幸い誰も怪我をしなかったが、10万個、100万個、1000万個と増やしていった場合どうなるかたいへん興味深い点である。

遊園地の滑り台のような斜面とピンポン球と興味を持つ人が若干名さえ揃えば手軽に実験ができるピンポン球なだれが、取り扱いの難しい雪崩の正体の一部を解明してくれることを期待したい。