

動植物におよぼす超高圧力の影響

小野 文久(岡山理大・理), 森 嘉久(岡山理大・理), 三枝 誠行(岡大・理)

Effect of Ultra High Pressure on Plants and Animals

Fumihisa Ono*, Yoshihisa Mori, Masayuki Saigusa^A

*Department of Applied Science, Okayama University of Science,

1-1 Ridaicho, Kitaku, Okayama 700-0005

^ADepartment of Biology, Okayama University,

3-1-1 Tsushima-Naka, Kitaku, Okayama 700-8530

*E-Mail: fumihisa@das.ous.ac.jp

Abstract: Recently, one of the NASA's groups reported that they found a several DNA blocks in some meteorites found in Antarctica. They considered these DNA blocks came through space from some other planet. A European space research group showed that a small animal, tardigrade can tolerate being exposed to space vacuum for 10 days. These reports show some possible way for an experimental support to the hypothesis that the origin of life on earth came through space. Another possible way was proposed by the present author's group showing some plants and animals can stand against ultra high hydrostatic pressure of the order of several GPa. We have been studying the tolerance of small living samples such as planktons and mosses, and found that all of them were alive after exposed to the extremely high hydrostatic pressure of 7.5 GPa. These experiments have been extended to a higher plant *Trifolium lepens L* (white clover). It turned out that most of the high pressure exposed seeds of white clover were alive. Considering the fact that diamond powders industrially used are synthesized under a pressure around 5.5 GPa, where graphite changes into diamond structure, it seems difficult to understand that all the living samples which have been investigated can survive after exposed to 7.5 GPa.

Key words; Life under very high pressure,

1. はじめに

2011 年 8 月に NASA のグループから南極で発見された隕石に DNA 由来物質を発見したという報告があった¹⁾。これらはそのまわりに存在するものとは異なり、宇宙由来であるとしている。さらに、これらの物質は小惑星から飛来したと報告している。地球最初の生命は、深海熱水で誕生したとする説が有力視され、その検証は DNA 物質などの科学的な合成を中心として進められている。一方、宇宙誕生説、宇宙飛来説については、宇宙ステーションを利用してクマムシなどの小動物を宇宙の真空中に暴露してその生存を確認するなどの方法で進められている²⁾。

我々は「生命体が大きい隕石中にとじこまれたままで宇宙から地球に飛来出来るか」という課題を設定し、その可能性を探索している。たとえば、他の惑星で誕生した生命体が、地中深くで堆積岩などの中に閉じ込められ、大きい隕石として宇宙空間に飛び出す場合を想定すると、生命体は超高圧力に耐えられなければならない。この課題を検証するために、我々はこれまでに超高圧力が小動物や植物種子の生命に及ぼす影響を調べてきた。その結果、7.5GPa の印加後も生存している動物や植物種子が多数あることを見つけた。この超高圧力は、炭素をダイヤモンドに変える圧力³⁾、すなわち、5.5GPa をはるかに超えている。炭素がその結晶構造をグラファイト構造からダイヤモンド構造に組み替える圧力を超えて生命が維持されるということは、物体を構成するたんぱく質、酵素、糖類など、炭素を多く含む物質がすべて超高圧

の下で分子構造を変えることなく、あるいは変えたとしても、超高圧を取り除いた後は、可逆的に元の構造に戻っていることを示している。

現在、我々はクマムシ、プランクトンなどの小動物の卵、コケ類孢子から高等植物の種子までについて超高圧印加後に生命が維持されるかどうかを調べているので、これまでの結果を以下に報告する。

2. 超高圧の発生と生物試料への印加

最高圧力 7.5 GPa の静水圧を発生する装置としてキュービックアンビルプレスを用いた。この装置はタングステンカーバイド製の 6 個のアンビルを 250 トンプレスを用いて駆動するもので、アンビルの先端径は 4 mm である。

超高圧セルは 1 辺 6 mm のパイロフィライト（ロウ石の一種）を用い、その中心に直径 2 mm の穴を開け、そこにテフロンカプセルに詰めた生物試料を挿入する。テフロンカプセルの内径は 1.6 mm であり、高さは 1.8 mm である。圧力媒体としては生物に無害とされる液体としてフロリナート(FC77)を用いた。フロリナートは 2 GPa の圧力で固化するとされるが、我々が使用した装置では、7.5 GPa の超高圧でも、その静水圧性は維持されていると思われる。図 1 に超高圧発生後の 1 組 6 個のアンビルの内の 3 個とその中心にある超高圧セルを示す。

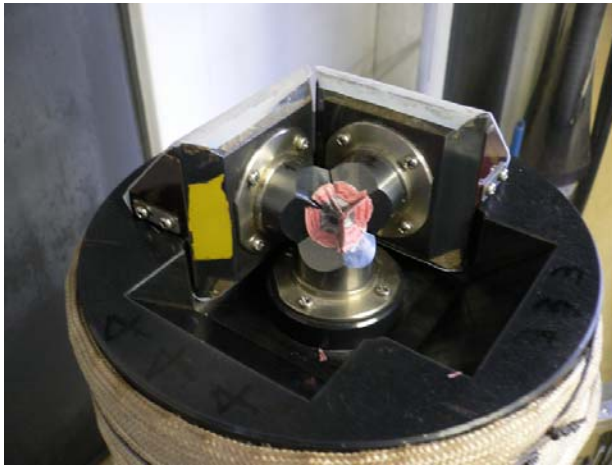


Fig.1 Three of the six cubic anvils after generating 7.5 GPa for 1 hour..

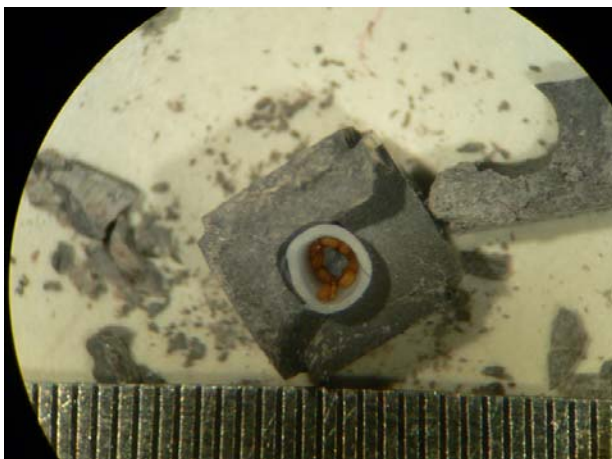


Fig. 2 Pyrophyllite high pressure cell with the teflon capsule containing several seeds after generating 7.5 GPa.



Fig.3 Twenty tardigrades in a Teflon capsule after exposed to 7.5 GPa for three hours.

図2に超高压発生後、回収したパイロフィライト（ロウ石）、およびその中に埋め込まれたテフロンカプセルと、さらにその中のシロイヌナズナの種子を示す。

3. 超高压印加実験の結果

3-1. 小動物クマムシおよびプランクトンについて

樽状態（乾燥状態）の生きているクマムシ 20 匹をテフロンカプセルに入れ、上に述べた超高压発生装置を用いて 7.5 GPa の超高压力を 20 分～1 日間印加した後、カプセルを回収して水中に戻してクマムシの生死を調べた（図3）。その結果、7.5 GPa の圧力を 3 時間印加した場合、20 匹のクマムシすべてが生きて動き出した（図4）。7.5 GPa の圧力に 12 時間以上耐えられることがわかった⁴⁾。

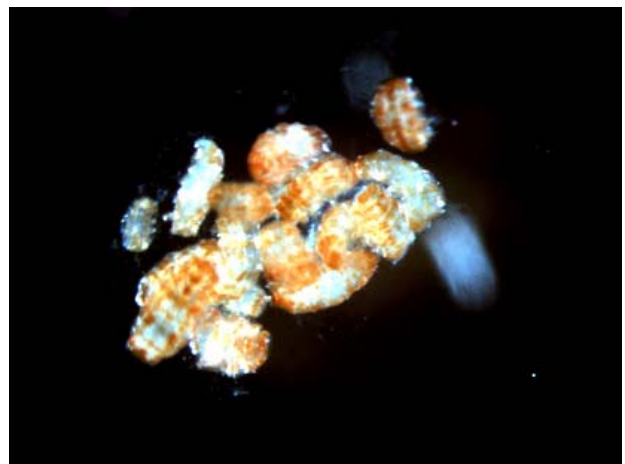


Fig.4 Tardigrades began to move after exposed to 7.5 GPa for 3 hours and soaked into pure water.



Fig.5 An artemia egg and hatched nauplius after exposed to 7.5 GPa for 48 hours and then soaked into sea water.

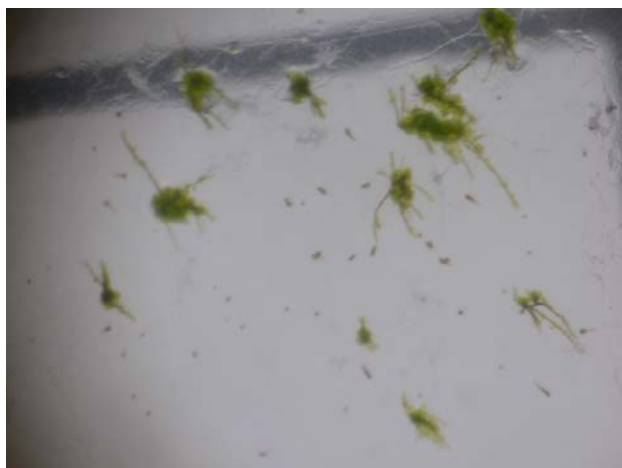


Fig.6 Germinated *Ptichomitrium* after exposed to 7.5 GPa for 6 days. The photo was taken three weeks after seeded.



Fig.7 One of the four germinated *Venturiella* exposed to 7.5 GPa for 6 days, and three weeks after seeded.



Fig.8 Germinated seed of *Arabidopsis thaliana* after exposed to 7.5 GPa for 1 hour. The germinated root, petiole and leafs are clearly seen.

さらに、プランクトン的一种であるアルテミアの乾燥卵数 10 個をテフロンカプセルに入れ、7.5 GPa の超高圧力を 1 時間～6 日間印加し、回収してから海水中に入れ、それらの生死を調べた。その結果、アルテミアはクマムシより超高压耐性が強く、7.5 GPa の超高圧力に 3 日以上耐えられることがわかった^{5,6)}。

図 5 に 7.5 GPa の超高圧力を 48 時間印加して回収し、さらに海水に戻してから 24 時間経過後のアルテミアの様子を示す。孵化した幼生が動いているのが見える。

3-2. チヂレゴケおよびヒナノハイゴケ

チヂレゴケとヒナノハイゴケはどちらも日本、中国、韓国などでポピュラーなコケであり、長期の乾燥など極限環境に強いと考えられる。

岡山県内で採集したチヂレゴケ、およびヒナノハイゴケの胞子嚢、それぞれ 2 個ずつをテフロンカプセルに入れ、7.5 GPa の超高圧力を 1 時間～6 日間印加した。回収したチヂレゴケの胞子嚢を切り、中の胞子を寒天培地に植え付け、その後、発芽するかどうかを調べた。その結果、チヂレゴケの胞子は 7.5 GPa の超高圧力を 6 日間印加した後も図 6 に見られるように多数発芽した⁷⁾。

一方、ヒナノハイゴケについては、7.5 GPa の圧力を 6 日間印加後に回収し、寒天培地に植え付け、発芽状態を調べた結果、わずかに 4 個の胞子が発芽した⁸⁾。図 7 にその中の 1 個を示す。

3-3. シロイヌナズナおよびホワイトクローバー

コケ類胞子と比べて、高等植物であるシロイヌナズナやホワイトクローバーは種子のサイズが大きく、しかも水分をより多く含むことから、7.5 GPa といった超高圧力にはとても耐えられないと考えていたが、超高压印加実験を一応、試みてみた。加圧時間は、30 分、1 時間、2 時間～1 日間を試みてみた。結果は 1 時間までの超高圧力印加であれば根と茎、葉がすべて発芽した⁹⁾。

図 8 に 7.5 GPa の超高圧力を 1 時間印加後に回収して播種したシロイヌナズナの根と茎、葉の発芽の様子を示す。1 時間以上の超高圧力印加により、根の伸長に参与する細胞分裂組織が影響を受けたことがわかった。

ホワイトクローバーの種子は直径約 0.5 mm と大きく、テフロンカプセルの中に 2～3 個しか入れることができないので、統計的なデータを得ることは困難であった。超高圧力印加後の種子は種蒔土を入れた植木鉢に直接、播種した。

7.5 GPa の超高圧力を 30 分印加して回収した種子については、コントロールとほとんど変わらず、茎と葉が大きく伸長した。これに対し、7.5 GPa の超高

圧力を1時間印加した種子からは、図9に見られるように、茎と葉が出てきたが、30分印加に比べて約1/4と小さく、最初に現れた葉も三つ葉ではなく、二つ葉であった¹⁰⁾。

その後の育成継続と定期的な観察により、7.5 GPaの超高圧力を30分印加したホワイトクローバーは図10に見られるように花を咲かせた。



Fig.9 White clover exposed to 7.5 GPa for 30 minutes (left hand side) and exposed to 7.5 GPa for 1 hour (right hand side). This photo was taken 8 months after seeded.



Fig.10 A flower came to blossom from the white clover exposed to 7.5 GPa for 30 minutes.

4. 考察と結論

以上述べたように、これまでに研究対象とした動物および植物、すなわちクマムシ、アルテミア、チデレゴケ、ヒナノハイゴケ、シロイヌナズナ、ホワイトクローバーは、7.5 GPaの超高圧印加後もすべて生きていた。クローバーなどの高等植物の種子は水分を多少含んでいるので、超高圧力印加により凍る

ため、枯死すると予測していたので、これらの結果は非常に驚くべきものである。

グラファイト構造を持つ炭素は5.5 GPaの圧力を加え、温度を2000℃に上げるとダイヤモンド構造に変化する²⁾。この圧力を超える7.5 GPaの圧力下で炭素原子を多く含む生物体が生存していること、およびそのDNA、ミトコンドリア、酵素などすべてが圧力印加後、常圧に戻すと、可逆的にもとに戻っていることを示している。このことから0.5 GPaの圧力領域での高圧殺菌の技術が食品分野で応用されているが、この技術は再考察が必要であろう。

本研究の結果は、例えば堆積岩などの岩石の中に閉じ込められた生命体を考えると、これらを含めて大きい隕石となって宇宙空間を飛行した場合、生きのまま地球に飛来する可能性を秘めている。したがって、本研究で得られた結果は、地球上の生命の宇宙飛来説の1つの検証に成り得ると考えられる。

参考文献

- 1) M. P. Callahan et. al., *Proc. National Acad. Sci. USA*, Aug. 11, 2011, Early Edition, 13995.
- 2) K. I. Jonsson, et. al., *Current Biology* **18**, R729 (2008).
- 3) F. P. Bundy, H. T. Hall, H. M. Strong, R. H. Wentorf, *Nature* **176** 51 (1955).
- 4) F. Ono, M. Saigusa, T. Uozumi, Y. Matsushima, H. Ikeda, N. L. Saini, M. Yamashita, *J. Phys. Chem. Sol.* **69**, 2297 (2008).
- 5) F. Ono, K. Minami, M. Saigusa, Y. Matsushima, Y. Mori, K. Takarabe, N. L. Saini, M. Yamashita, *J. Phys. Chem. Solids* **71**, 1127 (2010).
- 6) K. Minami, F. Ono, Y. Mori, K. Takarabe, M. Saigusa, Y. Matsushima, N. L. Saini and M. Yamashita, *J. Phys. Conf. Series* **215**, 012164 (2010).
- 7) N. Nishihira, A. Shindou, M. Saigusa, F. Ono, Y. Matsushima, Y. Mori, K. Takarabe, N. L. Saini, M. Yamashita, *J. Phys. Chem. Solids* **71**, 1123 (2010).
- 8) F. Ono, Y. Mori, K. Takarabe, N. Nishihira, A. Shindo, M. Saigusa, Y. Matsushima, N. L. Saini and M. Yamashita, *J. Phys. Conf. Series* **215**, 012165 (2010).
- 9) 田中佐季, 他; シロイヌナズナの種子における極限環境耐性の発現機構, *宇宙利用シンポジウム (第27回)*, p.171 (2011).
- 10) N. Nishihira, T. Iwasaki, R. Shinpou, A. Hara, F. Ono, Y. Hada, Y. Mori, K. Takarabe, M. Saigusa, Y. Matsushima, N. L. Saini, M. Yamashita, *J. Appl. Phys.*, to be published.