

	<p>レポート</p> <p>衝撃波による炭素固定と循環ー 1</p> <p>SCE・Net 郷 茂夫</p>	<p>発行日</p> <p>2013.1.24</p>
---	---	-----------------------------

1. 緒言

最近では、極限環境下での材料創製に関する研究開発ー特に未踏な極限条件ーが盛んです。そのひとつの手法に「超高压衝撃圧縮法」があります。この衝撃法は比較的簡便に百万気圧程度までの衝撃圧縮条件を達成することができ、衝撃誘起反応または高压相転移による新規材料の創製の可能性があるとされます。経産省産業構造審議会のH22年の「二酸化炭素固定化プロジェクト評価」では、衝撃圧縮法は「先端的研究の技術シーズ」という分類になっています。ただ、未だ公的認定を受けてはいないようで、お金がどんどん出ているということにはなっていないようです。

衝撃波ー高速飛行体の衝突によって生じる現象は著しくダイナミックな物質応答であり、物質中には超高压の衝撃波が発生し、また超高速の変形破壊現象が生じます。衝突による衝撃現象には身近な出来事から壮大な時間とスケールに至るまで様々な例があり、広い技術分野で重要な現象です。秒速数キロメートル程度までの衝突速度の現象なら容易に実験室的に見ることができます。

地球生命の歴史について若干触れますと、ご存知のところですが、6千万年前にユカタン半島付近に巨大な小惑星が落下激突し、その衝撃はホンの一瞬だったとしても、その後ある期間太陽光が遮られたというだけでなく、何万年もの間地球環境を大いに攪乱し、昨今の温暖化どころではなく、恐竜類を絶滅に追いやったという解説があります。この巨大小惑星が激突した時に「超激しい衝撃波」が発生したことは容易に想像できます。衝撃波の発生直後には「超高压・超高温」が生じます。地球の土壌、岩石の多くを構成している炭酸塩化合物が瞬時に熔融、分解、気化し、次の瞬間に冷却されて、炭素やケイ素の様々な結晶が多量に生成し、激突のドサクサで地下に埋蔵されたというわけです。この強大な衝撃波の影響が地球生命の歴史に非常に大きな影響をもたらしたということがわかってきたのはごく最近のことです。平均すれば数千万年に1度の割であったと言われるこの巨大衝撃波事件は、その度に生命体系が塗り替えられたーいわば進化のギヤが切り替わったーことの大元の原因と捉えられているのです。

2. 衝撃波とは

衝撃波については、東北大の高山先生が、ネット上で長編の連載解説を出しているので、参照いただきたいと思います。

http://www.engineering-eye.com/rpt/c007_shockwave/06_46.html

この調査に関連しているポイントだけを若干抜き書きますと；

(1) 衝撃波現象の「その瞬間（ピコ秒とかマイクロ秒とか言う時間）」の実体は理論的に未だに良くわかっていない。物理や化学工学の教科書に出ている理論は、ずっと後（と言っても秒オーダーとか）の現象解析にすぎない。

(2) その瞬間、大型衝撃波の後ろでは、数百万気圧、数百万K度に達すると言われる。

(3) 衝撃波は比較的容易に人工的に作ることができる。大体、数千気圧から数万気圧、数万度から数十万度程度の装置、発生条件は簡便である。

(4) この衝撃波には「特別な反応＝衝撃誘起反応又は超高压高温条件での相転移」が付随することが実験でわかっている。

3. 研究開発用の衝撃波発生装置（これは次回の調査に譲ります）

4. 衝撃波の利用

衝撃波の実用利用を目指して、多くの企業が参入し、研究開発がおこなわれています。既に多くの実用例があります。医学と食品加工での例のみを挙げます。

(1) 医学, 医療面の利用

- # 非観血的体外衝撃波結石破砕装置；外科手術なしに腎臓結石を破砕除去するもの。従来、衝撃波の破壊作用は負の技術と評価されたが、この発明は衝撃波が人類の福祉に直接貢献する例となったと。
- # 微小爆発での体外衝撃波誘起骨成長術装置開発。
- # 難治性の五十肩、テニス肘、踵の疼痛治療に、衝撃波収束を適用し、除痛効果を確認。
- # 気泡と衝撃波干渉を使って生体軟組織損傷を制御。
- # 微小爆発で作った衝撃波を照射して、気泡が血栓中に貫入する一脳血栓の血行再建術。
- # 切開手術一生体軟組織を容易に切開し直径 200 μm 以上の血管を切断しなかった；軟組織はほとんど非観血的にまた選択的に切開された。
- # 微粒薬剤を患部あるいは生体に注入する技術—小型で簡単な光学系に改良して内視鏡と組み合わせて人体の到達可能な部位に導入、薬剤あるいは遺伝子を打ち込む装置。

(2) 水中衝撃波を利用した食品加工技術食品加工での利用

- # りんごの衝撃波処理；衝撃波処理を行ったリンゴを手で絞ると果汁が溢れ出し、直接ストローをさして果汁を飲むことも可能となる。
- # 軟化処理；パイナップルに対して衝撃波処理を行うと、全体が軟らかくなりスプーンで食べることができる。また普段食べられない芯の部分もおいしく食べられるようになり、可食重量は非処理の約 2 倍となる。果肉は瑞々しく、切った途端に果汁が溢れ出す。
- # 浸透性の向上；# 浸透性の向上；食紅で着色した水にダイコンを浸し、衝撃波処理をうと、その着色剤はダイコンの内部にまで浸透している；この効果を利用して、衝撃処理による調味料の浸透を行うことで、漬物などの加工技術への応用。

5. 衝撃波による特殊反応—「衝撃誘起反応・高圧相転移」

衝撃波による特殊反応—「衝撃誘起反応」という—と高圧相転移の例を以下に挙げます。大宇宙規模の壮大な生成現象から、地球規模サイズ、そして人工的に起こす実験室規模の反応までいろいろあるわけです。

(1) パルスレーザーによる物質生成方法（出典：特開2008-214170）

自然に存在する炭酸塩（代表的には、炭酸カルシウム含有物質など） → 衝撃波パルスレーザーを印加 → 固体炭素を含む粉末状物質（粉末状石墨炭素、粉末状不定形炭素、粉末状ダイヤモンドのいずれか 1 つを含む）の小粒子を生成する。

$\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{C}$ (Caは単体, 又は酸化物になる)

(比較：化学気相成長法を用いた方法＝従来の(ダイヤモンド)炭素の高圧高温化学反応を用いた方法は、限られた石墨炭素を特殊の高圧高温装置で反応させる(1, 200—2, 400 $^{\circ}\text{C}$, 55, 000—100, 000気圧；他のいろいろな方法があるが、手間かかる、装置大、コスト高い。)

(2) 収束衝撃波による二酸化炭素の分解（出典：特開 2004-202420 JFE エンジ）

CO_2 を逆ラップ型(逆テーパー)の衝撃分解装置へ供給し、反応物質(Fe, Al, Mgの金属粉, プラスチック粉, 炭化水素, 他いろいろある)との混合ガスに着火し、その後起こる収束衝撃波圧縮により超高温になり、 CO_2 は分解 → 固体炭素Cが生成 + 金属粉の場合はその金属酸化物が生成する。また、水蒸気を混合ガスに用いれば、水素を得ることができる。(反応装置については詳細を略す；「エネルギーロスを低減

しつづ安価に」という.)

- (3) 超分散ダイヤモンドの生成 (出典: REISHAUER Co. Ltd. 技術資料)
黒鉛構造物 (C) → 衝撃波合成 (極めて高い圧力と温度) で炭素材料を詰めたカプセルを 衝撃波圧縮 → 小径ナノダイヤモンドの生成 (これは相転移).
http://rmnt.reishauer.com/uploads/tx_userdownloads/JAP_Datenblatt_UDD_230811.pdf
- (4) 高強度レーザー誘起衝撃波による金属炭素生成の可能性
ダイヤモンド → 高強度レーザー誘起衝撃波で超高压力下 (1.2 TPa 以上) に圧縮 → 金属炭素に相転移; 但しこれは急激温度上昇 (による液化を避けるため) が無いように多段で行うテクニックを使う.
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jshpreview/16/3/16_3_243/pdf
- (5) NASA の『スピッツァー宇宙望遠鏡』による, 生まれたての恒星系の観測によって, 惑星を構成する原材料は, 初期恒星をとりまく超音速の衝撃波によって生成される可能性があることが示唆された. 急速加熱の後に急冷が起こったときにのみ形成される, 極小の水晶が存在することがわかった. こうした状況は, 圧力による衝撃波の結果である可能性があるとして科学者たちは考えている.
- (6) 生命の材料となる有機分子は, 隕石衝突でもたらされた実験証拠.
(出典: 東北大学, 物質・材料研究機構, ナノ物質ラボ)
新しい生成仮説「有機分子は初期地球で激しかった微惑星や隕石の海洋爆撃により, 多種多量に生成した」とする「有機分子ビッグバン説」の可能性を示唆した. それを受けて, マグマオーシャンが冷えて生成した, 約 40 億年前の海の成分水 (またはアンモニア水), 大気成分の窒素, 隕石中の成分の鉄, 炭素, 少量のニッケルを封入し, そこに衝突速度約 1km/s 弱という力で弾丸を衝突させ, 衝撃波を与える実験を行った. 分析した結果, 生成物として, アミノ酸の一つであるグリシン, アミノ酸の原料になるカルボン酸やアミンなどが確認された. 約 40 億年前の海洋に隕石が衝突することで有機分子ができることを証明した.

6. 衝撃波と地球の炭素循環

もともと, 筆者はこの部分を言いたかったのですが, 結論が最後になりました. 山口大学の三浦先生 (元教授) は, 地球温室効果ガスと地球温暖化問題の考え方について, 以下のような趣旨を言っておられると思われます.
出典: 「地球環境と二酸化炭素などの温室効果ガスの大気圏への蓄積について」
http://ds22.cc.yamaguchi-u.ac.jp/~haisui/journal_j/no_25/environment_presevation_25.pdf

<以下要旨と部分引用; 上記のサイトをご覧ください. ただ, この先生の文章はちょっとクセがあり理解しにくいところがあると感じます. >

温暖化問題について, これまでは地球 (大気圏・海水圏・固体圏) の各圏内での物質移動の変化が主に追跡されて気候変動として理解されている. しかし, 物質循環する周期と変化が主に短い大気圏 (短周期) とやや遅い海水圏 (中間周期) で地球温暖化問題が議論され, 一見分かりやすく見えるが, 物質変化が長周期の固体圏は固体物質でなく, 地理的な空間情報として扱われており地球内での十分な物質循環を考察していない.

著者は, 次の考えで地球の現象を見ている.

- ①炭酸ガス中の炭素の固定は, 「ミクロな微粒子状態で生成」して, 大きく成長する.
②人類が生成した人工物は結果的に「廃棄物的なものを生成する」方法であるが, **活動する地球の長周期循環反応に沿っている**ので, 「炭酸ガスから炭素固定による地球内循環資源の再生」をすれば, 廃棄物と炭素固定の問題が一挙に解決できる.
炭酸ガス増加などによる地球温暖化の新旧の考えを比較して書くと;

	これまでの考え	これからの考え
炭酸ガスの増加	地球そのものと人間活動での	人間活動 (特に産業廃棄物) の炭素

	増減現象	固定循環
地球温暖化	気候変動, 大気海水圏の短周期でマクロ的状態変化	固体層を含めた三圏での周期的なミクロ状態変化

地球における状態変化促進現象をみると、地球の各圏内と圏間の状態変化は、「急速に発生する高エネルギー現象（雷雨、火山、地震、高速飛来・隕石衝突）」で生じていることが、最近の研究から分かってきている。約6千5百万年前、約10 km大の小惑星が地球に衝突して地球環境が変化して恐竜などが絶滅したという「激変説」論文で生物の進化論が変わってきただけでなく、地球環境が急激な高エネルギー発生現象と関係することが分かってきて、その衝突の残留物が鉱物固体（高压炭素、高压シリカ、衝撃変成石英など）で世界各地に多数発見されている。

また、

<http://www.lib.yamaguchi-u.ac.jp/yunoca/handle/D530003000024>

には、米国アリゾナ州でバリンジャー隕石落下衝突陥没孔から、衝撃波による高密度炭素・鉄・他の準結晶材料片が多数見出されたことについての研究成果が述べられている。

前述は、炭素の固定の話であるが、固体相からの炭酸ガスの放出についての新旧の考え方を比較すると、

	これまでの考え	これからの考え
固体相からの炭酸ガスの放出	主に生物活動か地球外起源による	① 人間活動（特に産業廃棄物）と ② 地球外物質による地表岩石（石灰岩など）の衝突放出

上表②については、衝突実験による蒸発過程からも示唆される；地球環境で炭素含有岩石（石灰岩）に衝突すると大気中に多量の炭酸ガスを放出蓄積し、地球の気候変動を大きく変えてきたことである。

<引用、部分要旨の終わり>

ということで、これは調査研究ですから、他者の文献を引用しているのが大部分ですが、以下に筆者の少し拙い推定を書きます。

上記6. の中段に、『人工物は結果的に「廃棄物的なものを生成する」方法であるが、活動する地球の長周期循環反応に沿っている』とありますが、これはどういうことでしょうか？

該著者の趣旨を汲むと、炭酸ガスと炭素含有鉱物（炭素固定；炭酸ガスの固定ではないこと）が長期循環だと言っているのが、「．．．沿っている」とは、人工物はこの変化の過程に組み込んでもよいということでしょう。例えば、石油からエチレンをつくり、ポリエチレンを作り、成型加工して包装用フィルムの袋を作る、この過程でCO₂が排出される。そして使用が済んだら廃棄される。これが長周期循環に沿っているとは、ポリオエチレンの方が炭酸ガスより炭素固定に近い(=やりやすい)ということかと推論します。

ポリエチレンの重量の85%は炭素です、Cが非常に濃縮されています。一般に、人工物は廃棄物になっても依然としてエントロピーが低く、ある意味で価値が高く、標準状態の炭酸ガスの比ではありません。それはとりもなおさず、衝撃波による炭素固定の効率が良いということになりませんか？大いに廃棄物を作ってそれを炭素固定すればいいのではないのでしょうか？個体炭素は成長してまた燃料に一永遠の循環は無いものでしょうか？

地球温暖化現象なるものは、たかだか数百年でどうこう理解されるものではなく、地球の長期の固相循環までを含めて、衝突・衝撃現象をうまく利用できないものでしょうか。

以上、不完全な調査研究（その1）でしたが、筆者の理解が誤りであれば、ご遠慮なくご指摘ください。窓投稿の期限が来ましたので、今回はここまでです。次回はもっと調べてみようと思います。

以上」