[PDF 版]

泡の生態系における進化

-生命はどのように原子が組織して誕生したのでしょうか？
原子は周囲環境と相互作用して、結合に最も適した原子が、可能な電子状態のなかで適した状態になろうとします。反応すると環境が変わります。液体の水はその反応の連鎖が容易にできる環境です。泡の膜は長大な分子を合成できて、長い有機分子が膜を構成すれば泡の寿命が長くなります。原子が適応して鋳型を作り、その鋳型で複製が作られます。そのような活動が繰り返されることで泡の膜と分子が進化して生命が誕生したと考えられます。ここで、炭酸水中で鉄が酸化すると泡が生成され、それが時間の経過で変化する現象を中心に報告します。

2010 年 9 月

唐 澤 信 司 (宮城高専 名誉教授)
Shinji-karasawa@kbh.biglobe.ne.jp
http://www7b.biglobe.ne.jp/~shinji-k/jpcoveroriginoflife.htm

泡の生態系における進化

― 原子が生命活動を如何に組織したか ―

[目次]

序
第１章 炭酸水に鉄粉を混ぜると生成する気泡（鉄炭化物気泡）の実験
1.1節　炭酸水に鉄分を混ぜると発生する気泡
1.2節　炭酸水に鉄分を混ぜると発生する気泡の特性

第２章 鉄炭化物気泡を構成する物質の化学分析
2.1節　分析に用いた試料の作成
2.2節　赤外分光分析
2.3節　エネルギー分散型Ｘ線分析

第３章 鉄炭化物気泡の生成を説明する理論
3.1節　炭酸水中で炭素原子と鉄原子の反応
3.2節　水中における炭素と鉄の電極反応

第４章 鉄炭化物気泡を生成する条件
4.1節　鉄炭化物気泡の生成とカルシュウムイオンの存在
4.2節　鉄炭化物気泡の生成とナトリウムイオンの存在

第５章 鉄炭化物気泡の内部構造の形成
5.1節　鉄炭化物気泡の生態系における進化
5.2節　鉄炭化物が作る小さな気泡で構成される複雑な気泡の形成

第６章 鉄炭化物気泡形成に関わるシリカの作用
6.1節　鉄が二酸化炭素を還元する反応に対するシリカの触媒作用
6.2節　鉄が炭酸水を還元する反応に対するシリカの触媒作用
6.3節　水面より上部のガラス壁に付着する物質
あとがき

YouTube: 生命誕生　"http://www.youtube.com/watch?v=_MSCbhzBoMM"
YouTube: 泡の精神　"http://www.youtube.com/watch?v=7mLPULp-il8"
YouTube: 細胞の誕生　"http://www.youtube.com/watch?v=oCm8ZrFBQgE"
YouTube: 泡による進化　"http://www.youtube.com/watch?v=mlUD1gP_xfM"
YouTube: 泡における生態系 "http://www.youtube.com/watch?v=Udo_85hBGrs"

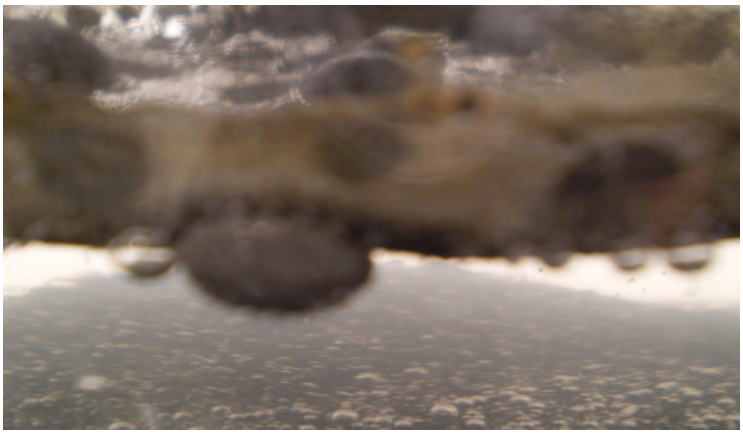
序

生命体は生化学反応が組織されています。その生命体はどのようなしくみで誕生したのでしょうか。遺伝子が持つ情報は細胞のしくみが無ければ役に立ちません。 最初の生命は情報がないのに誕生したのです。海が形成された頃の原始の地球では二酸化炭素(CO_2)が多量にあって、海水には炭酸ガスが多量に解けていました。 その炭酸水に地殻の鉄(Fe)が接触しました。

実際に炭酸水に鉄粉を入れてみると、底と水面に序の写真に示すような気泡ができます[1]。炭酸水(CO_2+H_2O)と鉄より酸化鉄ができ、酸素(O)を奪われた炭素と鉄が鉄カーバイド(Fe_3C)などの鉄炭化物を作ります。 鉄炭化物と水が反応して、酸化鉄と水素と炭素をつくり、水中の水素と炭素によって気泡ができます。その生態系において泡が進化して生命活動のしくみを組み上げたという説を述べます。

鉄炭化物の泡の膜には様々な原子が結合します。炭素原子は水素原子及び塩素原子及び金属原子など様々な原子と化学結合できます。 同じ炭素原子同士で単結合、ニ重結合、三重結合を作り、鎖状や環状や分岐を持つ分子の骨格を作ります。そこで、その気泡が次々と生成されることが自然淘汰の機能を実現します。

泡の膜は気体と液体の水にはさまれていて、２次元的に分子をそろえて並べます。次々と生みだされる気泡は合体切り替えを繰り返して大きくなります。 その泡の生成と消滅が繰り返されることによって化学反応が組織の自然淘汰が行なわれたことにより生命が誕生したと考えました。 生命誕生に至る最初の化学進化の舞台として炭酸水と鉄を材料にした泡の生態系について調べた事柄をまとめました。



炭酸水に鉄粉を加えると水底と水面にできる気泡（無機物から有機物の生成）

[参考文献]

[1] 唐澤信司, “豊富に二酸化炭素を含む水の鉄の酸化による鉄カーバイドと膜の非有機的な生成”, 2010 宇宙生物学科学会議, 進化と生命； 4 月 26 日-29 日, リーグシティ,テキサス, セッション[生物以前の進化：化学から生命へ], 4 月 27 日発表, 2010.

第 1 章　炭酸水に鉄粉を混ぜると生成する気泡 (鉄炭化物気泡)の実験

1.1 節　炭酸水に鉄粉を混ぜると発生する気泡

1.1.a　実験に使用した原料

鉄の原料は**図 1(a)**に示す鉄粉を使い炭酸水は有機物質が含まれていない**図 1(b)**に示す市販の炭酸水を用い、ました。

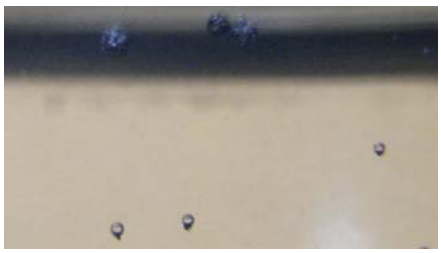
(a) 鉄粉

(b) 炭酸水

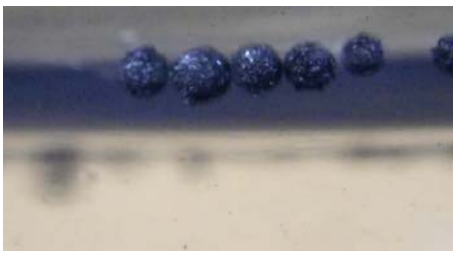
図 1 実験に使用した材料(炭酸水の成分表によればﾅﾄﾘｳﾑを 13ppm 含みます。)

1.1.b　炭酸水に鉄粉を混ぜて生成される気泡の時間変化

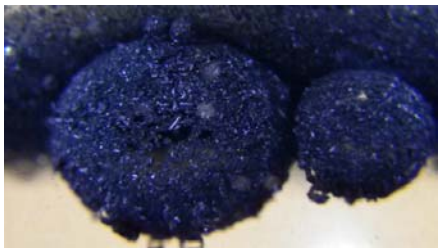
炭酸水 80cc に鉄粉 5g を入れ密封した水面に形成される気泡をデジタルカメラの顕微鏡モードで撮影して観察しました。　炭酸水 80cc に鉄粉 5g を入れて密封して置くと**図 2(a),(b),(c),(d)**に示すように水面に固形物を吊り下げて運ぶ気泡が現れます。最初のうちは気泡が水面で破裂してしまうので落下しますが、そのうちに**図 3(a),(b)**に示すように水面に浮いて留まるようになります。



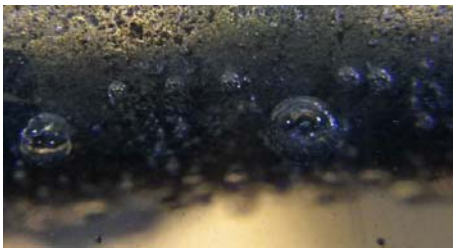
(a) 1 時間 26 分経過



(b) 2 時間 0 分経過

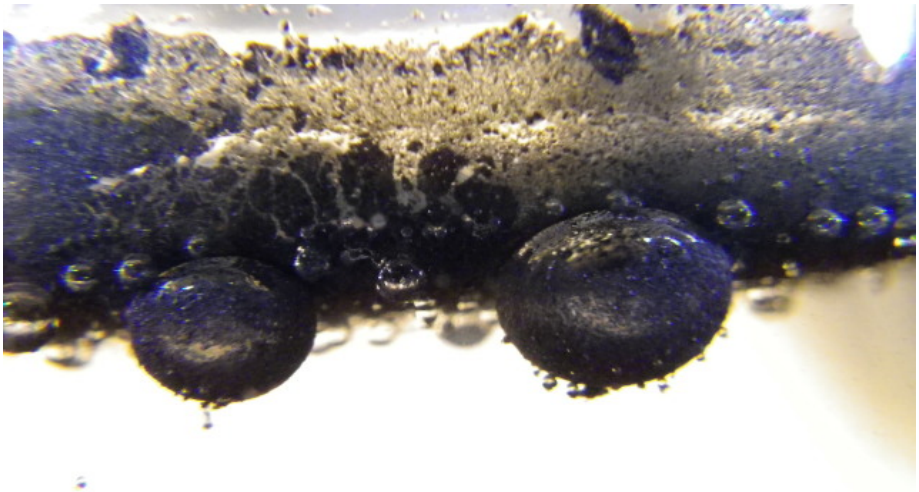


(c) 3 時間 52 分経過

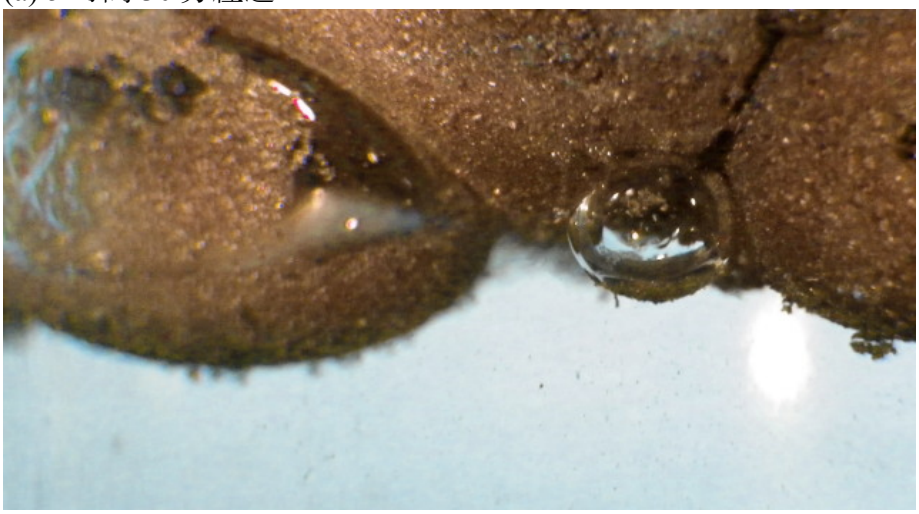


(d) 4 時間 45 分経過

図 2　炭酸水 80cc に鉄粉 5g を入れて密封して置くと生成される気泡



(a) 5 時間 30 分経過



(b) 13 時間 50 分経過

図３　炭酸水 80cc に鉄粉 5g を入れ密封した容器内の水面に集積される気泡と物質

1.1.c　鉄粉入り炭酸水で生成される物質のその後の経時変化

理科教育実験用の鉄粉を市販の炭酸だけの炭酸水に入れた後の経過を以下に示します。炭酸水に鉄粉を入れて振り 混ぜて置きます。しばらくして図４に示すように泡が発生して水面に浮上し、泡は大きくなり、泡の浮遊物が表面に集まります。その表面から落下する質も見受けられます。蓋をしたガラス瓶では振り 動かして気泡を消滅させても、再び、 気泡が生成されます。気泡の中の気体の成分は、酸化鉄と鉄の炭化物が生成された反応で発生するガスであるので水素ガスであると推定されます。

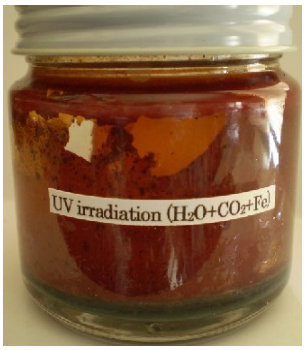
ガラス壁には薄い膜が形成され付着して干渉色を示します。薄い膜がガラス壁に形成されたのです。空気に触れていた浮遊物は赤茶色となります。その色は酸化鉄によるものと考えられます。

ガラス壁には薄い膜が形成され付着して干渉色を示します。薄い膜がガラス壁に形成されたのです。空気に触れていた浮遊物は赤茶色となります。その色は酸化

鉄によるものと考えられます。　**図 4 (b)**は２ヶ月後の写真です。気泡は消滅して、水面より上部のガラス壁に赤茶色の物質となって残りました。また、水中にも少量の浮遊する物質が残ります。**図 4 (c)**に示す写真は炭酸水に鉄粉を入れて紫外線の光で照射した後、５ヵ月間放置したもので、ガラス壁に形成されたやや厚い膜が剥がれて見えます。

(a)　15 時間経過

(b)　２ヶ月経過



(c)　５ヶ月経過

図４　炭酸水(90cc)に鉄粉(5g)を混ぜて生成した物質の経時変化

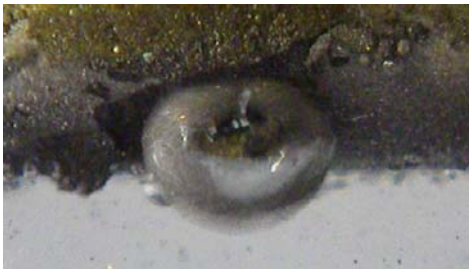
1.2 節　炭酸水に鉄分を混ぜると生成される気泡の特性

1.2.a　約 0.1 秒間で合体する気泡

２つの気泡が一つに合体する際の短時間で起こる変化を**図 5 (a),(b),(c),(d),**に示します。

(a)　0/30 秒　経過

(b)　1/30 秒　経過



(c)　2/30 秒　経過

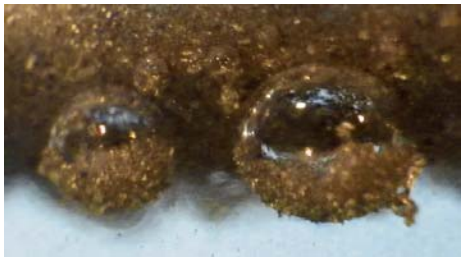
(d)　3/30 秒　経過

図５　2つの気泡が一つに合体する過程

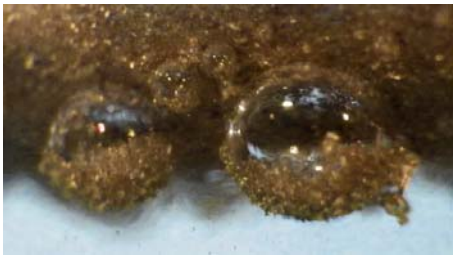
1.2.b　炭酸水に鉄粉を混ぜて生成される気泡の膜内の物質の移動

気泡の膜に捕らえられた固形物は移動します。**図 6 (a)**と**図 6 (b)**を比較すると

中央右よりの固形物が下方に移動しています。この写真は13秒間で起こった変化を示しています。 大きな気泡の上部に透明な部分がありますが、重い固形物が気泡の下部に移動した結果であると考えられます。大きな気泡にはニ重になった膜が見られ、複雑な構造になっています。 また、**図６(a)**と**図６(b)**の大きな気泡の周辺を比較すると、周辺の気泡には移動するものや、合体するものがあります。



(a) 4時間42分36秒後



(b) 4時間42分49秒後　[(a)より13秒後]

図６ 気泡の膜内における固形物の移動[炭酸水に鉄粉を混ぜて生成された気泡]

1.2.c　鉄粉を入れた炭酸水から気泡が発生するしくみ

底に沈んだ鉄粉から気泡が発生して上昇しますが、気泡は水面に到達すると膨長して壊れます。気泡が破裂すると気泡に付随していた固形物が下降します。上昇する気泡と下降する物体が頻繁に起こっていて、そのうちに、ゴツゴツした固形物で覆われた気泡が水面に見出されるようになります。水面の固形物にはそれを囲むような物質も見えます。水面に残った気泡に新たに上昇してきた気泡が付着し、合体して大きな気泡ができます。水面が浮遊物で覆われるようになると水面に留まり残っている気泡の量が増加します。

この反応が起こる理由は、炭素が水素と比較して電気陰性度が大きいことによります。鉄が炭酸水中で酸化する時に、鉄の原子と炭素原子と結びついた酸素が結合します。酸化鉄の反応で自由になった炭素原子は電気陰性度が水素原子より小さい鉄原子に結合します。 そこで Fe_3C, 等の鉄炭化物が生成されて、その鉄炭化物が水と反応します。鉄炭化物は酸化鉄および水素ガスと有機物を生みだすので気泡を作り金属炭化物を伴って水面に浮上します。気泡の膜は２次元的な構造で分子を組織します。最初の段階では水面で急激に気圧が少なるので多くの気泡は破裂します。しかし、鉄炭化物で覆われた気泡は破裂せずに水面に残ります。水面にはある鉄炭化物や気泡が新たに浮上してきた気泡の破裂を抑えます。こうして気泡が次々と作られる期間中は気泡が観察できます。

第１章のまとめ

炭酸水に鉄粉を混ぜると気泡が浮上します。その気泡には固体性の粒を伴っています。無機物質から有機物質が作られる証拠の一つとして、ガラス容器のガラス壁には膜が形成されます。

[第１章の文献]

[2] 唐澤信司、"二酸化炭素を多量に含む海水から鉄による脱酸素反応で生成される有機分子の膜における連鎖反応の組織化"、ｱｽﾄﾛﾊﾞｲｵﾛｼﾞｰﾜｰｸｼｮｯﾌﾟ 2008,pp.23-24, 2008

第２章　気泡を形成する物質の分析

2.1 節　分析した試料の作成

2.1.a　分析した試料の原料

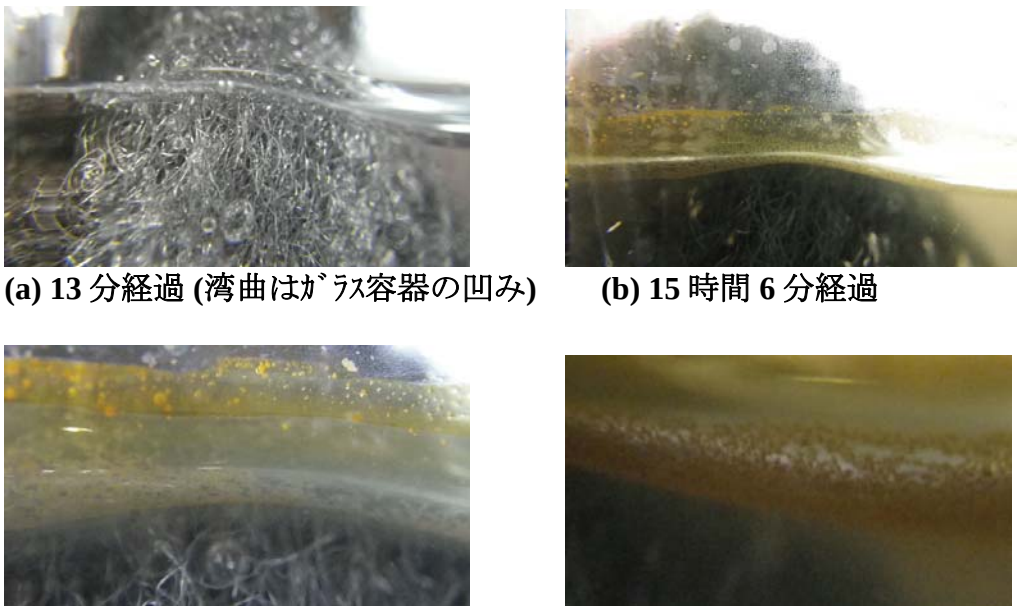
分析の実験に用いたスチールウール（鉄の細線）、ガラス瓶、および測定のために採取した試料の浮遊物の写真を図７に示します。なお、分析の結果、鉄の原料として用いたスチールウールにはその表面にカルシュウム(Ca)およびシリコン(Si)が含まれていました。

(a) スチールウール(b)試料を生成したガラス瓶　(c) 試料として採取された浮遊物

図７　スチールウールおよび浮遊物を分析試料として採取した水溶液

2.1.b　分析した試料の生成過程

スチールウール加えた炭酸水の変化を図８ に示します。鉄粉を入れた場合と相違して、スチールウールを入れた場合には液が茶色になりました。



(a) 13 分経過 (湾曲はｶﾞﾗｽ容器の凹み)　(b) 15 時間 6 分経過

(c) 21 時間 3 分経過　(d) 26 時間 38 分経過

図８　炭酸水にスチールウールを投入後の経時変化

2.1.b　分析に用いた試料の採取

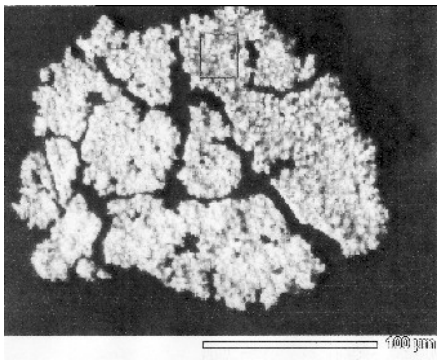
図 8(c)に示す炭酸水にスチールウールを入れた液体から分析した試料を採取しました。浮遊物を採取するために，ステンレスの匙で採取するとはじくように逃げるます。そこで，網ですくい取りました。乾燥させた試料をシャーレに載せて写真撮影したものを**図 9(a)**および**図 9(b)**に示します。**図 10(a)**は光学顕微鏡写真であり、**図 10(b)**は走査型電子顕微鏡の像です。なお，**図８(b)**に示すガラス瓶の側壁に干渉色を示す側面の付着した物質も採取して分析しました。

(.a) 乾燥させた浮遊物（全体像）

(b) 乾燥させた浮遊物（拡大写真）

図 9　炭酸水にｽﾁｰﾙｳｰﾙを入れて生成され水面に浮遊する物質の乾燥状態の写真

(a) 乾燥させた浮遊物（ｘ600 倍）



(b) 水面の物質の SEM 像(目盛 100um)

図 10　炭酸水にスチールウールを入れて生成され水面に浮遊する物質の拡大写真

2.2 節　赤外分光分析

2.2.a　分析の原理と結果

赤外光を照射して分子に振動や回転を起こさせる吸収の波長を測定して比較することにより分子の結合のタイプを分析することができます。 一般に波数が $1500cm^{-1}$～$650cm^{-1}$までの領域が、物質独特の 吸収パターンが現れ指紋領域と呼ばれています。 既知試料のスペクトルがわからないと同定は困難です。最初の段階として、流動パラフィンの炭素原子と水素原子の結合の伸縮振動の吸収ピークが $3000cm^{-1}$現れるかどうかを調べました。 炭酸水にスチールウールを入れて 1 週間経過してできた物質を乾燥させて赤外光分析の結果を**図 11** に示します。

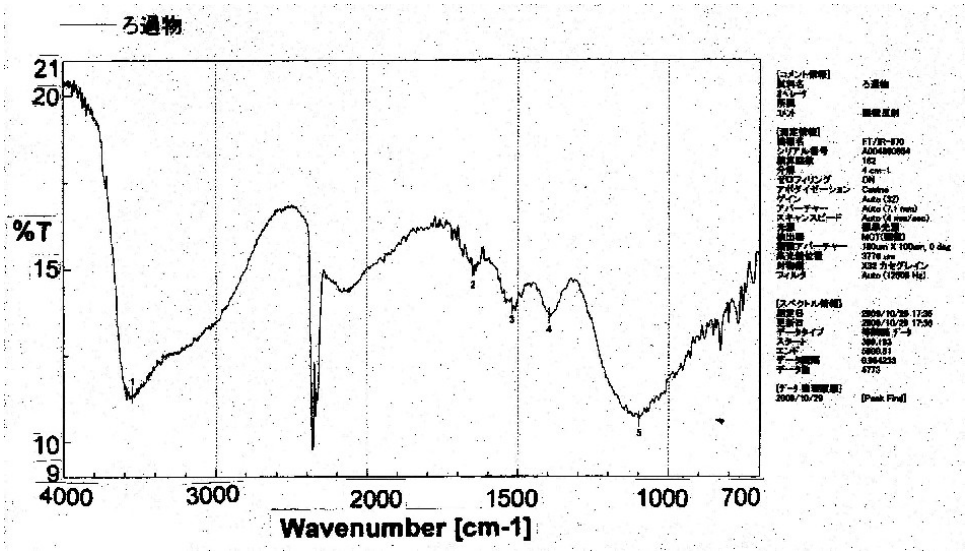


図 11　炭酸水にｽﾁｰﾙｳｰﾙを入れたガラス瓶の水面の浮遊物質の赤外光分析の結果

図 12 にはガラス瓶の側面の付着した物質の赤外光分析のデータを示します。**図 1 1** および**図 12** のデータにも 3000cm^{-1}付近に現れる炭素原子と水素原子の結合の伸縮振動の吸収ピークが見当たりません。 なお、ガラス壁から採取した物質には 4000cm^{-1}に近い波数の多い（波長の短い）所に吸収があり、 高い周波数の振動の吸収ピークを見出すことができます。

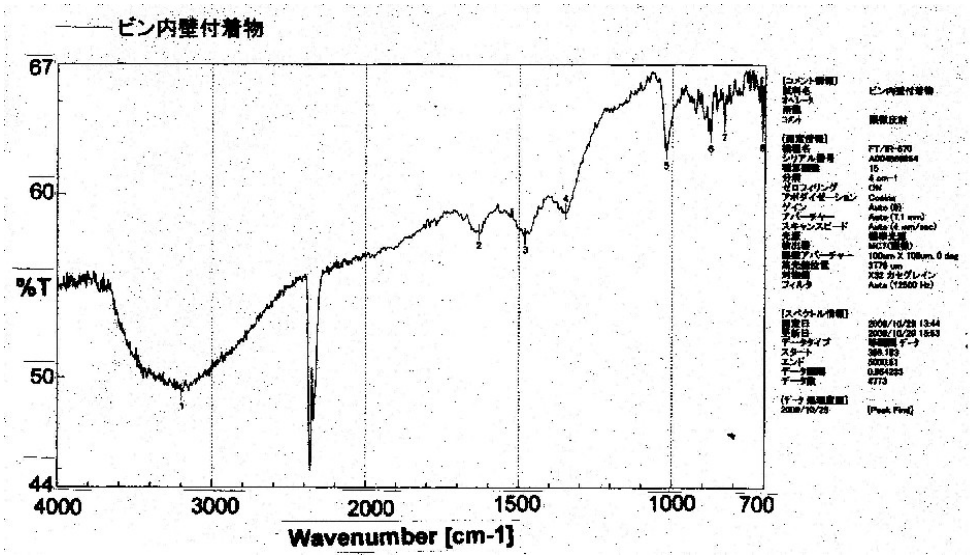


図 12 炭酸水にｽﾁｰﾙｳｰﾙ入れたガラス瓶の側面の付着した物質の赤外光分光の結果

2.3 節　エネルギー分散型 X 線分析

2.3.b　エネルギー分散型 X 線分析の結果

エネルギー分散型 X 線分析は電子ビームを照射して、発生する X 線の量によって、元素の分析をおこないます。　**図 10(b)**の試料の中で黒い枠内の領域にこの分析で**図 13** に示すようなグラフと表 1 に示すデータが得られます。

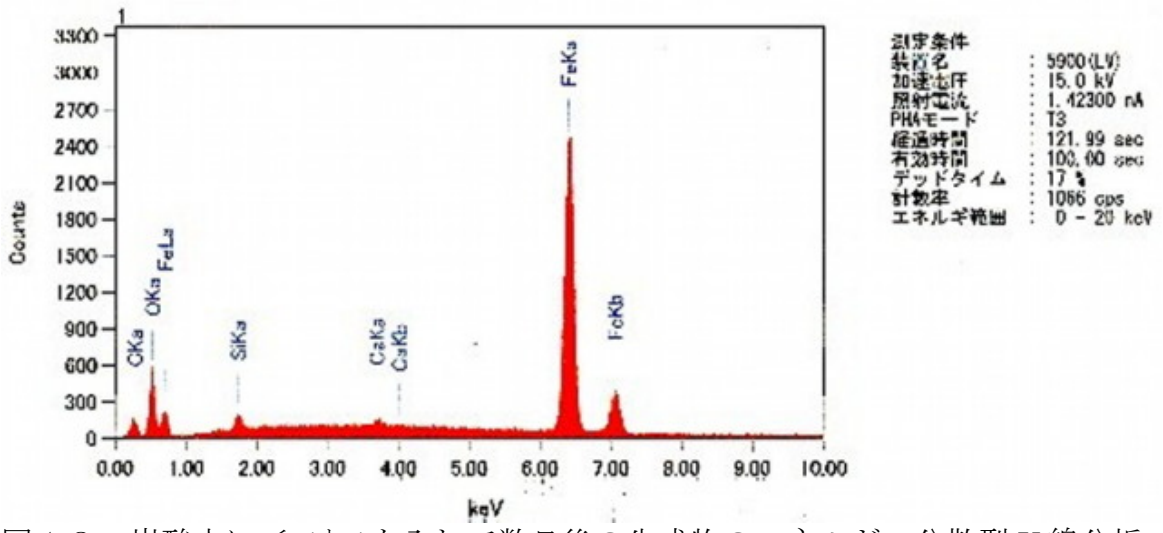


図１３　炭酸水にｽﾁｰﾙｳｰﾙを入れて数日後の生成物のエネルギー分散型 X 線分析

表２、表３は場所をずらして測定したデータです。元素の成分量としては鉄が一番多く次に酸素、その次に炭素が多いことが明らかになりました。 なお、水素は測定にかかりません。また、カルシュウムおよびケイ素はスチールウールの製造過程で表面に付着したものです。

この測定結果にはかなりバラツキがあります。それが生成された物質が鉄カーバイドであること示唆しています。鉄カーバイドは金属結合、共有結合、イオン結合のいずれともつかないような中間 t 的な物質であり、化合のモル比は固定していません。

表１　エネルギー分散型 X 線分析による元素の成分量(1)

φ(ρz)法 簡易定量分析
フィッティング係数 : 0.2972

元素	(keV)	質量%	誤差%	原子数%	化合物	質量%	カチオン数	K
C K	0.277	3.14	0.11	11.70				0.8682
O K	0.525	4.94	0.10	13.83				12.9303
Si K	1.739	0.77	0.13	1.23				0.5125
Ca K	3.690	0.47	0.17	0.53				1.6441
Fe K	6.398	90.68	0.48	72.71				91.1759
合計		100.00		100.00				

表２　エネルギー分散型 X 線分析による元素の成分量(2)

φ(ρz)法 簡易定量分析
フィッティング係数 : 0.2890

元素	(keV)	質量%	誤差%	原子数%	化合物	質量%	カチオン数	K
C K	0.277	3.75	0.10	12.61				1.0536
O K	0.525	9.30	0.09	23.46				24.2005
Si K	1.739	1.33	0.13	1.91				0.8927
Ca K	3.690	0.61	0.17	0.62				2.1178
Fe K	6.398	85.00	0.46	61.41				84.4449
合計		100.00		100.00				

表 3　エネルギー分散型 X 線分析による元素の成分量(3)

φ(ρz)法 簡易定量分析
フィッティング係数 ： 0.2784

元素	(keV)	質量%	誤差%	原子数%	化合物	質量%	カチオン数	K
C K	0.277	7.19	0.09	22.01				2.1554
O K	0.525	9.74	0.09	22.38				24.7077
Si K	1.739	1.23	0.11	1.61				0.8617
Ca K	3.690	0.52	0.16	0.48				1.8350
Fe K	6.398	81.32	0.43	53.52				83.2015
合計		100.00		100.00				

第２章のまとめ

分析実験の結論として、二酸化炭素を溶かした水中に鉄を溶かすと気泡を生成する物質は鉄と炭素が結びついた 鉄炭化物であることが明らかになりました[1]。

―付記―

水と石炭から炭化水素を合成する方法に Fischer-Tropsh 処理があります。この方法では熱したコークスに水蒸気を触れさせて発生する一酸化炭素と水素の混合ガス（水性ガス）を 150～300□の温度範囲で遷移金属を触媒に使って有機物を生成するものです。 鉄を触媒にした場合には種々の酸化鉄と鉄炭化物を生成することが知られています。 ここで，700□以上では二酸化炭素より一酸化炭素の方が安定で、一酸化炭素(CO)は窒素ガス(N_2)と同じ電子構造となります。Fischer-Tropsh 処理では、高温で水生ガスを精製し， 二酸化炭素のほうが安定である温度範囲において二酸化炭素と鉄により酸素を炭素から分離して、炭化水素を合成します。

第 2 章の文献

[1] S. Karasawa, " Inorganic production of membranes together with iron carbide via oxidization of iron in the water that includes carbon dioxide plentifully", Astrobiology Science Conference (AbSciCon2010, Evolution and life, #5168, League City, Texas, [Prebiotic Evolution: From Chemistry to Life □], Apr.27, 2010.

第３章　経験論的な理論

3.1 節　炭酸水中で炭素原子と鉄原子の反応

3.1.a　理論の概要

炭酸水に鉄粉を混ぜた時に、鉄の原子が炭酸の酸素と結びついて**(3.1)式**で示すように炭素原子と水素原子が発生します。 この反応で遊離した炭素と水素は**(3.2)式**で示すように鉄と反応して鉄炭化物と水素ガスを発生します。

$$2Fe^{3+} + 3\{H_2O + CO_2\} \rightarrow 3Fe_2O_3 + \{3C + 6H\} \quad \textbf{(3.1)}$$

$$2Fe^{3+} + \{3C + 6H\} \rightarrow 3Fe_3C + 3H_2 \quad \textbf{(3.2)}$$

(3.2)式に示す鉄炭化物は水中で水と反応して分解し、酸化鉄と遊離炭素を生成します。そこで自由になった炭素原子は水中で(3.3)式で示すように酸化鉄と有機分子を合成します。 そこで、有機分子の膜が水素ガスを包む構造の泡を形成すると考えられます。

$$2Fe_3C + 9H_2O \rightarrow 3Fe_2O_3 + \{C_2H_2\} + 8H_2 \quad \textbf{(3.3)}$$

気泡の膜を構成する有機分子の炭素原子は結合の相手を酸素原子から金属原子に替え、その後、水素原子と結合することになります。鉄は酸素と結び付くだけでなく、酸素に連れ合っていた炭素とも結び付きます。

炭素原子は可能な電子構造のうちで状況に適合する電子状態になって**表４**に示すように種々の化合物を作ります。

表４　炭素原子が作る化学結合の種類

（１）　炭素には同素体としてダイヤモンドやグラファイトおよび無定形炭素があります。
（２）　炭素原子ー炭素原子間の結合では、単結合、二重結合、三重結合を作ります。
（３）　炭素原子は水素原子**(H)**と炭化水素を作ります。
（４）　炭素原子はカルシュームや鉄**(Fe)**などの金属原子と化合物を作ります。
（５）　炭素原子は酸素原子**(O)**や塩素原子**(Cl)**などの原子と化合物を作ります。

3.1.b　二酸化炭素の水に対する溶解度

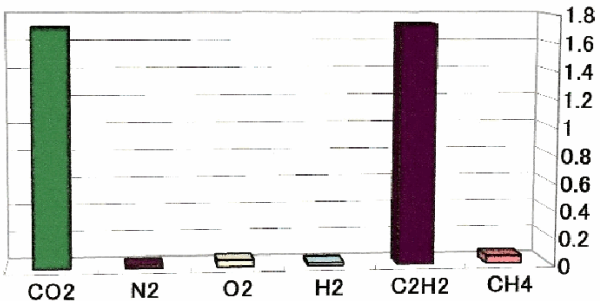


図 14　１気圧、０℃□の水１cc に対する気体の溶解度

図 14 より二酸化炭素とアセチレンは水に溶けることが示されます。このように個々の気体の性質は他の気体と比較することにより明確にできます。
二酸化炭素(CO_2)の水に対する溶解度の温度変化を**図 15** に示します[3]。**図 15** から水温が上昇すると二酸化炭素の溶解度は小さくなることが示されます。

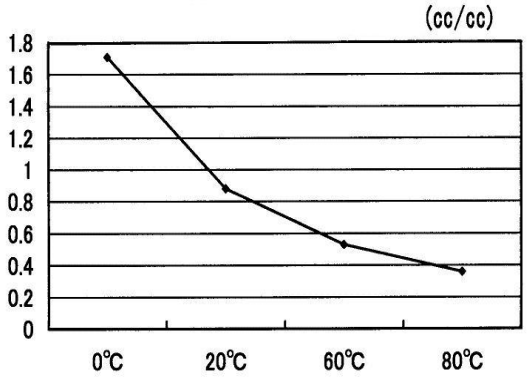


図 15　二酸化炭素(CO_2)の水に対する溶解度の温度変化

3.1.c　電気陰性度の値

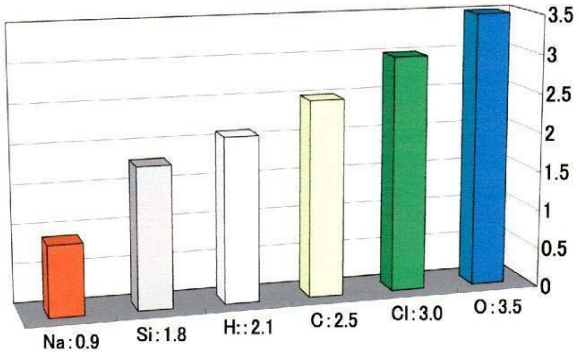


図 16　電気陰性度（ポーリングの値）

電子の状態は周囲の状況によって変化し、電気陰の値も置かれた状況によって変化しますが、化合物や分子内で原子がどの程度電子を引きつけるかを相対的に数値で表す尺度があって、ポーリングによって経験的に定義された電気陰性度の値を**図 16** に示します。 **図 16** の電気陰性度の値は電子を引きつける力の相対的な関係の目安です。電気陰性度とイオン化傾向の性質によって、炭酸水中で鉄の原子は二酸化炭素の酸素と結合し、残った炭素原子が水素原子ではなくて鉄の原子と結びつくことが理解できます。

ここで、電気陰性度の起源を NaCl を例にして説明します。イオン結合モデルにおいては Cl の p-電子が詰まり閉殻構造となり、Na の s-電子が空で閉殻構造となります。然るに、Cl の原子が電子を引き寄せる力が大きいのは何故でしょうか。価電子は化合して原子の状態とは異なる軌道にあります。 閉殻の軌道は球形で p-軌道は回転楕円体です。閉殻軌道に囲まれた Cl の p-軌道はN a の核の引力領域内に侵入し、 p-軌道に囲まれた Na の核の引力領域は p -軌道に侵入されたように

なります。そこで、化合物の NaCl の中で Cl の p-軌道は正電荷の核の引力をより多く受けて、電子を引きよせる力を多く受けるのです。

3.2 節　水中における炭素と鉄の電極反応

3.2.a　鉄の電極と炭素の電極を炭酸水に入れてできる電池の特性

図 17(a),(b)にi示すように，炭酸水を電解液に用い，チールウールと備長炭を電極とすると，鉄が陰極で炭素が陽極とする起電力が発生します。これは鉄の原子が炭酸水の酸素で酸化されるので炭酸水の中では酸素イオンが鉄の電極に流れるこみ、外部の電気回路では鉄電極から炭素電極に電子が移動して電流が流れる現象です。

最初は**図 17(a)**の如く電池の開放電圧は (0.3V)、短絡電流は 0.17mAでしたが、鉄の生成物の酸化物が滞留して電極の周りを覆うので開放電圧は低下し短絡電流も減少します。数時間後には**図 17(b)**の如くに変化して、電池の開放電圧は (0.1V)、短絡電流は 0.05mAという状態になりました。

（a）設定直後(0.17mA, 0.3V)　　(b)　５時間後 (0.05mA, 0.1V)

図 17　電解液に炭酸水，鉄の陰極にｽﾁｰﾙｳｰﾙ，備炭極に備長炭を用いた電池

3.2.b　電界を印加して炭酸水中を動くイオン

水素結合によって水中の水素原子は移動が容易です。水素原子が電子を放出すると電子を持たない原子核だけの陽子（プロトン）となり外部電界によって容易に移動します。炭酸は弱酸であり、水素イオンが溶液中に多く存在します。炭酸水中では負イオンである水酸基イオンOH^{-1}は移動が容易な水素イオンが結びつくので、炭素電極を用いて電流を流すと主にプロトンが陰極に移動します。陰極から電子を得たプロトンは水素ガスとなって**図１８**に示すように泡を発生します。

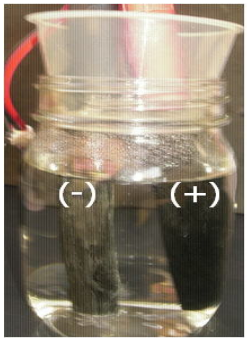


図 18　炭素電極を用いた炭酸水の通電処理による水素ガスの発生

紫外線を照射しながら、24V で 40 時間にわたり、電流を流すと陽極は図１８に示すように黒くなります。陽極に炭素が付着したのは炭酸イオンが陽極に接し、それが紫外線からエネルギーを受けて炭素電極に炭素が付着したものと考えられます。この電極反応では炭素原子が負イオンとして反応すると考えられます。

3.2.c　水中の鉄イオンと炭素電極の間の電極反応による鉄炭化物の生成

鉄粉を水に入れて炭素電極を用いて電流を流すと浮遊物と沈殿物が生成されます。鉄粉を撹拌することによって浮遊物の生成が著しく促進されることから、電極反応が起こっていると考えられます。最初に陰極から小さい気泡が数多く発生しますので、鉄の酸化で遊離した水素イオンが発生され水の導電性が増したと理解できます。その後、陰極には鉄分も炭素電極に付着します。他方、陽極の炭素電極が消耗します。電極が木炭であるので木炭による特有の反応が起こる可能性もありますが、この反応は発熱反応で液温が明らかに上昇するので 陽極において炭素電極の酸化反応が起こり、酸化した炭素つまり二酸化炭素が鉄と反応して、炭酸水に鉄を加えたときと同じ反応が起こったことが考えられます。

回転する磁石を下に設置して鉄粉を撹拌しながら、24 ボルトの電圧で 4 時間にわたり電流を流した結果を図 **19** に示します。浮遊物質は放置するとその量が激減します．その理由として，気泡は発生しなければ消滅してしまいます。そこで浮遊物質には気泡を多く含んでいると考えられます。

図 19　鉄粉入りの水に炭素電極で通電処理

第３章のまとめ

二酸化炭素は水に良く溶けます。炭素原子は水素原子より電気陰性度が大きく，鉄原子は水素原子より電気陰性度が小さいです。そこで，炭酸水の中では、鉄の原子は二酸化炭素から酸素を奪い取り，遊離した炭素原子は鉄の原子に結びつきます。こうして炭酸水に鉄を混ぜると鉄の炭化物ができ、その鉄炭化物が水と反応して水素と有機物をつくり、それらの分子は気泡に破壊に耐える性質を持たせます。

[第 3 章の文献]

[3] 国立天文台編、"理科年表"丸善、pp.503､2007.

第４章　鉄炭化物気泡を生成する条件

4.1 節　鉄炭化物気泡の生成とカルシュウムイオンの存在

4.1.a　炭酸水中に存在するカルシュウムイオンの電極反応による検出

卵殻を混ぜて炭酸カルシュウム ($CaCO_3$)を底に沈めた炭酸水に電気伝導性の良い備長炭の木炭電極を使って、電流を流しました。その結果、図２０に示されるように陰極側の木炭には白い粉のような物質が付着しました。電源端子との接続を反対にすると、その白い粉のような物質は、反対側の陰極電極に移動します。再び電源端子との接続を反対にすると、白い物質は再び反対に移動します。

図２０　炭酸カルシュウムを含む炭酸水において電流を流すことによりにより負の炭素電極の表面に白い粉末が移動する

これは、炭酸水にカルシュウムイオンが溶け込んでいる証拠であり、電極反応によって負の炭素電極にカルシュウムの化合物が析出したのです。従って、炭酸カルシュウムが水の中にあれば**(4.１)式**に示すようにカルシュウムが水にとけています。

$$\{ Ca^{2+} + 2(OH)^{-1}\} + 2CO_2\} \Leftrightarrow CaCO_3 + H_2CO_3 \qquad \textbf{(4.1)}$$

海底には炭酸カルシュウムは石灰岩として多量に存在します。 ここで、炭酸水中での鉄原子の酸化反応により遊離した炭素原子が生れると、遊離炭素がカルシュウム原子と結合して、カルシュウムカーバイド (CaC_2) が作られ、その カルシュウカーバイドは**(4.2)式**で示すように水と反応して、それがアセチレンを作ります。

$$CaC_2 + 2H_2O \rightarrow Ca(OH)_2 + C_2H_2 \qquad \textbf{(4.2)}$$

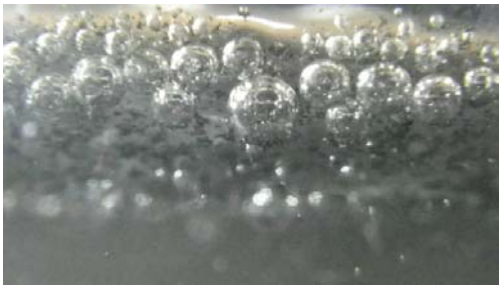
こうして生成されたアセンは水に溶けます。 その水に溶けたアセチレンが有機物質の材料になります。こうして、炭酸カルシュウムは鉄炭化物気泡の強さを改善することに寄与すると考えられます。

4.1.b　鉄炭化物気泡への炭酸カルシュウム (CaCO3) の効果

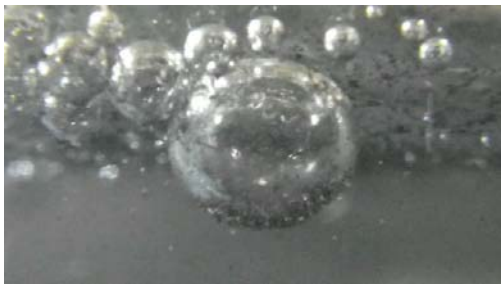
鉄粉と炭酸カルシユウムと混ぜられた炭酸水の気泡の経時変化を図２１に示し

ます。 ここで、炭酸カルシュウムとして卵殻を使いました。この条件の鉄炭化物の気泡は合体して複雑な構造になります。 また、二重構造を持つ気泡も形成されました。これは、カルシュウムイオンの存在により、アセチレンが合成されるようなしくみにより気泡の膜を強化するものと考えられます。

(a) 31 分 経過



(b) 1 時間 59 分 経過



(c) 2 時間 32 分 経過

(d) 2 時間 48 分 経過

(e) 3 時間 19 分 経過

(f)　28 時間 30 分 経過

図２１　炭酸水(50g)に鉄粉(5g)と炭酸カルシュウム(5g)を混ぜて生成される気泡

4.1.c　炭酸水に鉄粉と硫酸カルシュウム($CaSO_4$)の粉末を入れて形成される気泡

海水には硫酸イオンも含まれています。硫酸イオンはカルシュウムを結びついて硫酸カルシュウム[石膏]($CaSO_4$)となります。　そこで、炭酸水(50cc)に鉄粉(5g)と硫酸カルシュウムの粉末(5g)と入れてみました。図２３に示すように炭酸水に鉄を入れた場合と同様にして気泡が生成されます。 硫酸カルシュウムは炭酸と反応せずに、硫酸カルシュウムは気泡の形成にはあまり影響をしないと考えられます。火星では硫酸塩岩が多いのですが、中性であれば気泡による化学進化が進行

する可能性があると考えられるので火星から岩石資料を持ち帰る計画において化学進化の知見が得られることが期待できます。

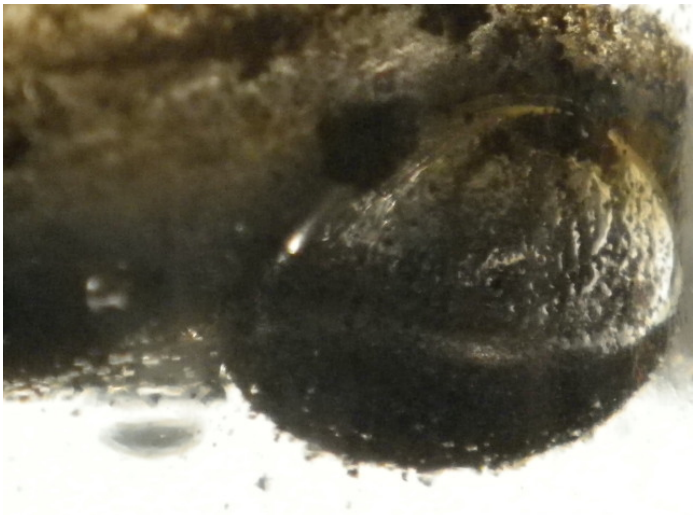


図２２　炭酸水(50cc)に鉄粉(5g)と $CaSO_4$(5g)とを混ぜて 12 時間後に生成された気泡

.4.1.d　炭酸水に鉄粉と酸化カルシュウム(CaO)の粉末とを入れて生成される気泡

炭酸水(50cc)に酸化カルシュウム(CaO)の粉末(2g)と鉄粉(5g)を入れると、一時的に液は白濁しますが、 やがて透明になります。 最初は炭酸水中の鉄分から発生する気泡の多くはすぐに消滅します。時間がかかりますが、やがて炭酸カルシュウムを入れた場合と同様に気泡が水面に留まるようになります。

これは次のように説明できます。酸化カルシュウム(CaO)が水と反応して水酸化カルシュウム($Ca(OH)_2$)となり、水がアルカリ性になります。 気泡がすぐに消えるのは気泡の膜がアルカリ性で溶けるのが原因と考えられます。やがて、炭酸水と水酸化カルシュウムが反応して炭酸カルシュウムを作り、 液が中性に向かうので炭酸水に鉄粉と炭酸カルシュウムを入れた場合と同じ状態になります。

しかし、生成された炭酸カルシュウムがアルカリ性の水にはあまり溶けないのでこの反応はゆっくり進行します。それで時間がかかります。酸化カルシュウムを入れた場合には図２３に示すように,ガラス壁に付着してできる気泡が見られます。

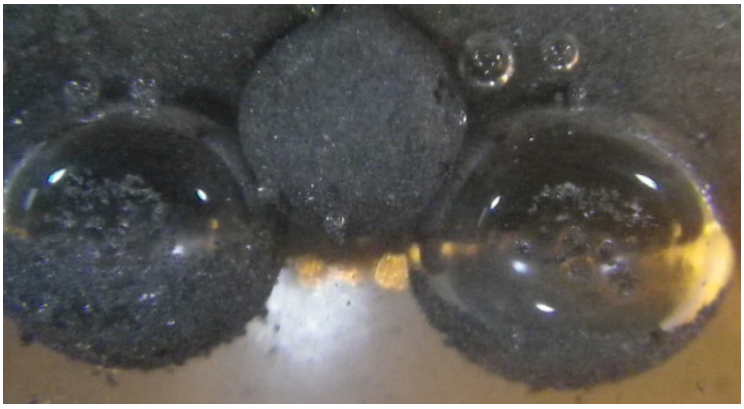


図２３　炭酸水(50cc)に CaO(2g)と鉄粉(5g)を混ぜて 23 時間密封して生成される気泡

その後、３日間経過すると**図２4** 示すように気泡は生じなくなり、気泡ではない浮遊物が水面に浮かびます。こうして、酸化カルシュウムを加えた場合にはアルカリ性になることが気泡の生成に影響していると考えられます。

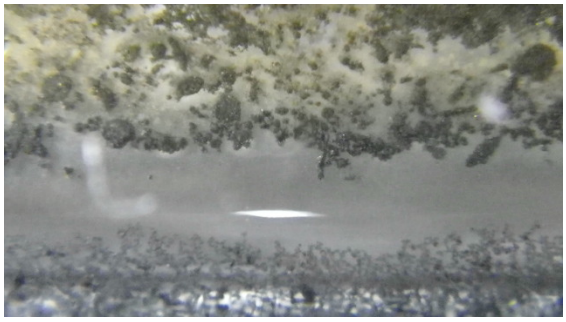


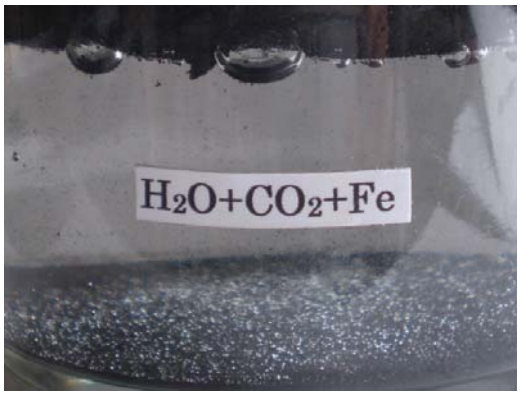
図２４　炭酸水(50cc)に鉄粉(5g)と CaO(:2g)を混ぜて 3 日間経過した状態

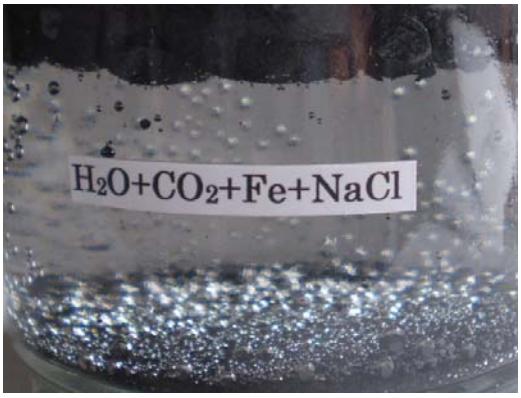
なお、水と反応してアセチレンガスを発生するカルシュウムカーバイド(CaC_2)は工業的には石灰岩とコークスを混ぜて一緒に熱して製造します。 最初に二酸化炭素(CO_2)が放出され、 酸化カルシュウム(CaO)ができます。そして、高温のコークスと CaO の酸素が結合して一酸化炭素ガスを放出し、 残ったカルシュウムと炭素が結びついてカルシュウムカーバイトができます。

4.2 節　鉄炭化物気泡の生成とナトリウムイオンの存在

4.2.a　炭酸水に鉄粉および食塩を混ぜた状態における気泡の形成

海水には食塩(NaCl)が含まれています。生命誕生につながるとした気泡は原始の海中で作られたことから、炭酸水に鉄粉と食塩を加えてみました。 15 時間経過後では食塩を混ぜない場合**図２５(a)**と混ぜた場合**図２５(b)**はほぼ同様な結果が得られました。





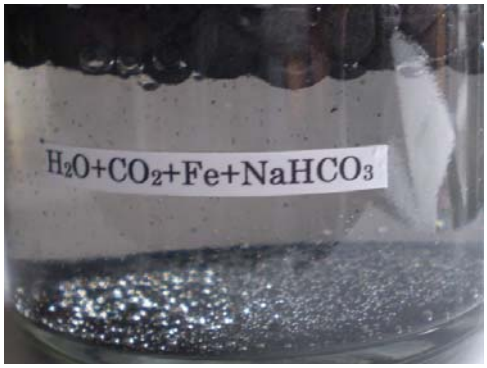
（a）　炭酸水(90cc)+鉄粉(5g)　　**（b）炭酸水+鉄粉にＮ a Cl(2g)の追加**

図２５　炭酸水(90cc)に鉄粉(5g)を混ぜた場合と食塩(NaCl)を更に(2g)追加した状態
[混ぜて１５時間経過]

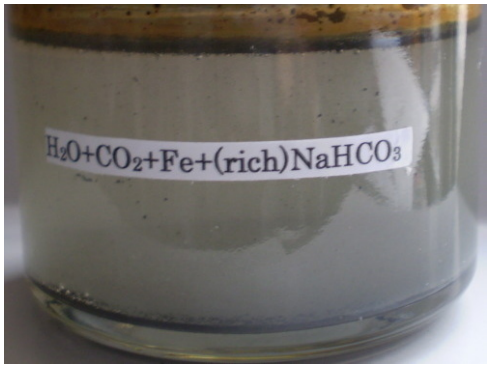
4.2.b　炭酸水に鉄粉および重曹($NaHCO_3$)を混ぜた場合に生成される気泡

炭酸水に鉄粉および 重曹($NaHCO_3$)を加えてみました。 その結果を**図２6(a)** に示します。重曹の量を増やした場合には**図２6(b)** に示すように液体は 乳白色で気泡は消失

して浮遊物は水面より上のガラス壁にあります。 これは重曹が弱アルカリ性であることから、重曹の量を増やすと水酸基(OH)が多くなり、膜を構成する炭素や水素がその水酸基と結合してしまうので、膜が弱くなり気泡が消滅すると考えられます。



（a） 炭酸水+鉄粉+NaHCO$_3$(2g)



（b） 炭酸水+鉄粉+NaHCO$_3$(7g)

図２６　炭酸水(90cc)に鉄粉(5g)を混ぜて重曹(NaHCO$_3$)を加えて 15 時間経過した状態

4.2.c　炭酸水に鉄粉および苛性ソーダ(NaOH)を混ぜた状態の気泡の形成

アルカリ性の影響を調べるために炭酸水(90cc)に鉄粉(5g)および苛性ソーダ(2g)を混ぜて密封して、気泡の形成を観察しました。 苛性ソーダ(NaOH)を加えると、水は水酸基が多いアルカリ性の状態になります。

混ぜた直後の状態を図２７の左側に示します。混ぜた直後には底に沈んだ鉄粉から気泡が発生しますが、直ちに消滅してしまいます。 20 時間経過後の様子を図２７の左側に示します。底に沈んだ鉄粉は茶色になり、気泡も発生しなくなることから鉄粉の表面が酸化されたと考えられます。

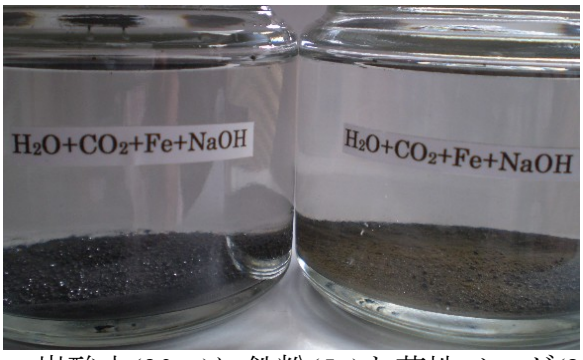


図２７　炭酸水(90cc)に鉄粉(5g)と苛性ソーダ(2g)を混ぜた直後と 20 時間経過した状態

第４章のまとめ

炭酸水に鉄粉を混ぜて生成される気泡はカルシュウム化合物やナトリウム化合物があっても中性であれば安定に存在します。水溶液がアルカリ性の状態になると鉄炭化物による気泡は消滅します。

第 5 章　鉄炭化物気泡の内部構造の形成

5.1 節　鉄炭化物気泡の生態系による進化

5.1.a 選択的に消滅させることを伴う生成による膜の進化

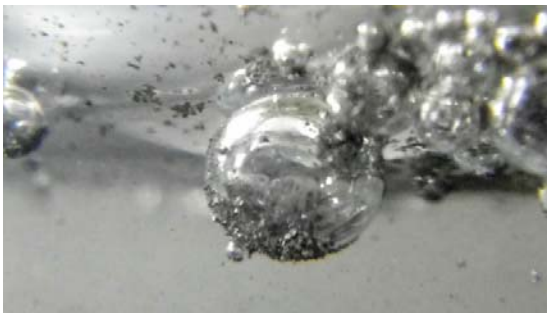
気泡を形成する方法が同じであれば、できる気泡もその配列も似たものになります。炭酸水に鉄粉を混ぜると気泡が生成されますが、 最初は生れた気泡はすぐに消滅します。しかし、数時間も経過すると、水面に浮遊物や気泡が残るようになります。 気泡が水面に残るようになるまでに時間がかかるのは、安定な泡の膜を作るために必要な分子が合成されるまでに時間がかかると考えられます。 気泡の膜は液体と相違した分子で作られています。水中の気泡の膜は気体と液体の境界であり、分子を２次元的に組織する構造を持っています。 その場所に分散して溶け込んだ分子が 2 次元的に並んで結びついて膜を構成します。 壊れにくい気泡は外界の変化にも適応した反応をする膜によって壊れにくい気泡が作られます。

気泡は浮上するにつれて受ける水圧が減少するので、膨長します。気泡の膨張は膜の広さの拡大を伴います。 気泡がその変化に対応できても、水面で泡の膜が大気に触れるので、その大きな変化で初期の気泡は壊れます。 気泡が崩壊する際に気泡で形成された膜の分子の組織もバラバラになります。 時間をかけて安定な泡が作られるようになる事実は、発生と破壊を繰り返すうちに、壊れにくい膜を作る分子 が多く存在することが必要です。

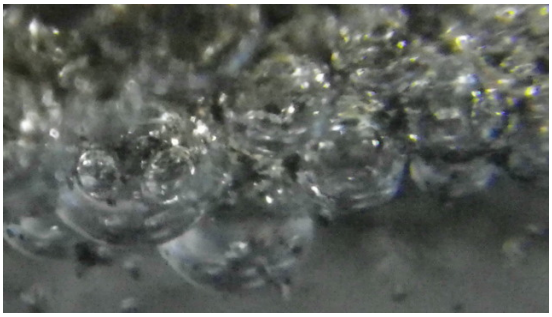
5.1.b 気泡を含むようにして形成された気泡

盛んに気泡が発生すれば気泡が相互に接触することが起ります。気泡が他の気泡に含見込まれることも起こり、内部に気泡をもつ構造の気泡ができます。一つの膜に包まれて合体した場合には一つの気泡に様々な物質が含まれます。その物質が泡の内部で再配置されます。それぞれの分子の化学的な結合の適応性と 、泡の膜における位置の再配列により、新たな分子が合成されます。 そのような組織である気泡が適者生存という結果を生む自然淘汰の試練を受けています。泡や膜の分子の進化が生成と消滅が繰り返されることによって進められます。

図２８に炭酸水(50cc)に卵殻($CaCO_3$：5g)と鉄粉(Fe:5g)を入れ密封してできた内部に気泡を持つ構造の気泡を示します。



(a)　2 時間 43 分 経過



(b) 3 時間 21 分 経過

図２８　炭酸水(50cc)に卵殻($CaCO_3$：5g)と鉄粉(Fe:5g)を入れ密封してできた気泡

図２８の気泡はカルシュウムの存在によってアセチレンが生成され、その分子によって壊れにくい膜ができ、複雑な気泡ができたと考えています。なお、**図３０(ｃ), 図３０(ｄ)**に示す場合には、水面に浮遊する鉄炭化物も気泡を作っており、気泡の内部の鉄炭化物が気泡を作ったニ重構造の気泡であると考えられます。

5.1.c 気泡の組織的な配置

気泡の組織的な配置は次のようにして形成されます。　まず、小さい気泡が水の底に沈んだ鉄粉から発生します。 その気泡は鉄炭化物が水素を発生するためにより大きくなり、浮上します。浮上する気泡は水面に浮かぶ気泡の底で合体します。 しかし、水面の表面は気泡が壊れやすいのであまり大きな気泡にはなりません。そこで、大きな気泡は小さな気泡の下に形成されます。**図２９**に小さな気泡を水面へのクッションにした配置の気泡群を示します。

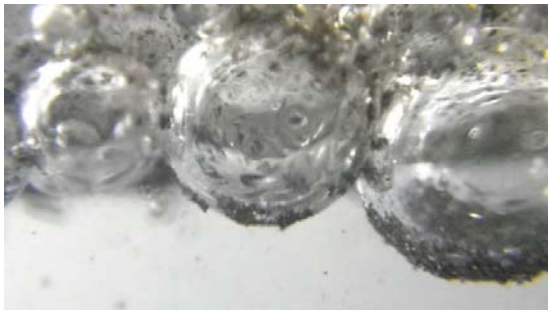
(a) 2 時間 42 分　経過

(b) 11 日経過

図２９ 進化する気泡の内部構造 [炭酸水(50cc)卵殻($CaCO_3$：5g)鉄粉(Fe:5g)を密封した]

5.2　鉄炭化物が作る小さな気泡で構成される複雑な気泡の形成

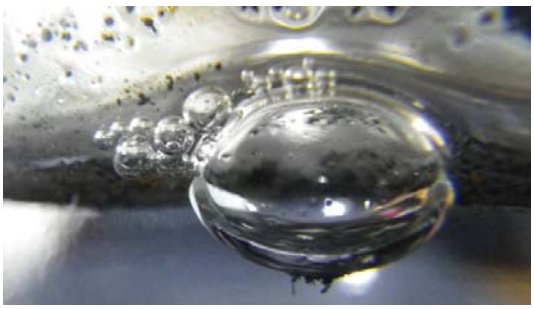
鉄炭化物は水と反応して水素ガスと有機物を作り、新たな気泡を作ることができます。 鉄炭化物が膜に含み込まれていますので、その鉄炭化物が水と反応を続けて小さい気泡を作り、ニ重構造の気泡が作られます。 ２重構造の気泡は破壊に対して頑強であり、長寿命である気泡が多く存在すると観測されることになります。　炭酸水に鉄粉と卵殻($CaCO_3$)を入れて生成した気泡に含まれた鉄炭化物が気泡を形成した様子を**図３０**に示します。



(a) 75 時間 13 分 経過

(b) 75 時間 16 分 経過

(c) 11 日経過



(d) 11 日経過

図３０　炭酸水(50cc)に卵殻($CaCO_3$：5g)と鉄粉(Fe:5g)を入れ密封してできた気泡

第５章のまとめ

炭酸水に鉄粉と卵殻(**$CaCO_3$**)を混ぜて密封して次々と生成される 気泡が合体します。合体した気泡の膜では付着物が下部に移動します。水面では気泡が壊れやすいので大きな気泡は、 小さな気泡を水面との間に挟んだ位置に見られるようになります。気泡の内部では、外側に小さな気泡を取り巻く **2** 重構造の気泡となり 、破壊を修復する機能を持った気泡が見られるようになります。

第 6 章　鉄炭化物気泡形成に関わるシリカの作用

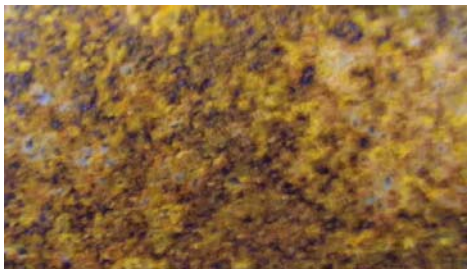
6.１節　鉄が炭酸水を還元する反応に対するシリカの触媒作用

6.1.a　二酸化炭素と鉄粉を混ぜるとガラス壁で起こる鉄の酸化反応

地表の多くは岩石で構成されています。その岩石の主成分はガラスと同じ珪酸(シリカ；SiO_2)です。 ガラス壁には気泡が付着して生成されることが観測されたので、 ケイ酸塩は気泡の形成にどのように関わるかを調べてみました。

鉄粉をガラス瓶に入れておいても変化は起きません。ところが、固体の二酸化炭素であるドライアイスと 鉄粉を混ぜて蓋で密封しておくとガラス瓶の壁に茶色の物質ができます。 その鉄粉とドライアイスを混ぜたガラス瓶とできた生成物の写真を**図３１**に示します。

(a) 鉄粉とﾄﾞﾗｲｱｲｽを混ぜたｶﾞﾗｽ瓶



(b)　ガラス壁にできた生成物

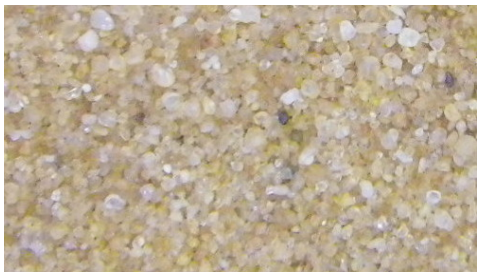
図３１　二酸化炭素と鉄によりガラス壁にできる茶色の物質

何故、ドライアイスが混ぜられた鉄粉ではガラス壁に酸化鉄ができるのでしょうか。ガラスの外界面では酸素が結合の手を出しており、この面に吸着する原子は炭素より鉄の原子です。 ガラス面に吸着した鉄の原子の電子状態は二酸化ケイ素に適応した電子状態となり、二酸化炭素とも結合しやすくなり、 ガラスの界面において鉄が二酸化炭素の酸素と結合して酸化鉄ができると考えられます。 従って、炭酸水中の鉄の原子もガラスの表面に付着して、カラスの界面において鉄が二酸化炭素の酸素と反応して酸化鉄と鉄炭化物ができると考えられます。 ケイ酸は炭酸水における鉄の酸化の触媒として機能します。

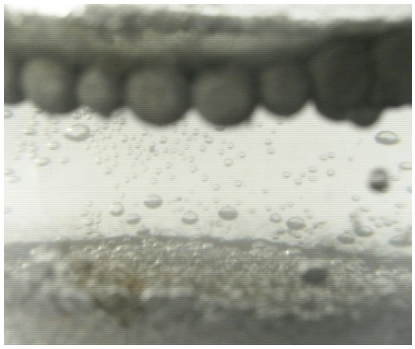
6.1.b　鉄炭化物気泡の形成反応に対するシリカの触媒作用

炭酸水に鉄分を混ぜた場合に比べて、**図３2(a)**に示す砂漠の赤い砂を加えた場合には、 **図 32(b),(c)**に示すように加えない場合より気泡が多く発生します。 ケイ酸は炭酸水に鉄を加えて鉄炭化物を生成する反応の触媒になるという考えを支持する結果です。

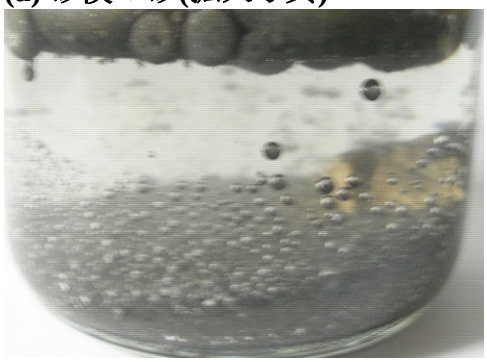
図３２(d)には炭酸水に鉄粉と砂漠の砂を加えた場合にガラス容器の水面より上部に付着した物質の写真を示します。鉄炭化物による気泡はケイ酸である砂も付着して、水面に浮上し、ガラス壁に付着し、気泡が壊れるとガラス壁に付着します。 その砂は酸化鉄より水となじみが良いので、水を含んだケイ酸塩が集まってガラスに付着し、酸化鉄と領域を分けていると考えられます。



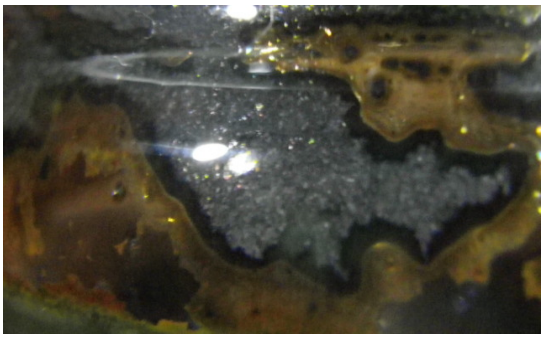
(a) 砂漠の砂**(**拡大写真**)**



(b) 炭酸水に鉄粉と砂漠の砂を混入



(c) 炭酸水に鉄粉と砂漠の砂と石を混入



(d) 水面より上のガラス壁にできた物質

図３２　炭酸水に鉄粉と砂漠の砂と貝の化石を混入して生成された物質

6.２節　ガラス壁に付着する鉄炭化物気泡

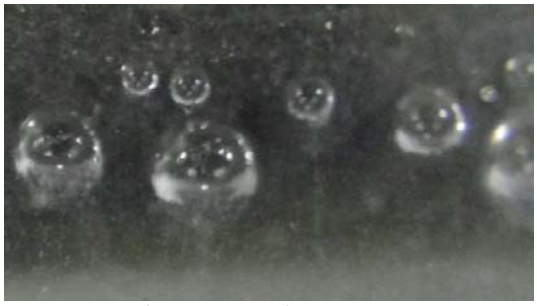
6.2.a　ガラス側壁に付着する気泡の痕跡

図３３　ガラス壁に付着した固形物質
(炭酸水に鉄粉と $CaCO_3$ を混ぜて 10 時間 27 分経過)

ガラス壁の同じ場所に気泡が生成されては消滅することを繰り返します。そこで、**図３３**に示すように透明な部分に物質が同心円状に付着することが観測されます。この水溶液を振動すると気泡はガラスに付着した部分を固定して他の部分が水の振動で動く様子が観察できます。

6.2.b　ガラス側壁に付着して成長する酸化カルシュウムを含む鉄炭化物の気泡

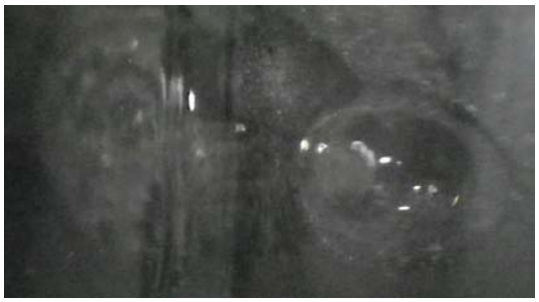
炭酸水(50cc)に鉄粉(5g)と酸化カルシューム(CaO)の粉末(2g)を入れると**図３５a)～(d)**に示すように,ガラス壁に気泡ができます。



(a)　7 時間 45 分 経過

(b)　8 時間 43 分 経過

(c)　23 時間経過 (正面像)



(d)　23 時間経過 (側面像)

図３４　炭酸水(50cc)に鉄粉(5g)と CaO(2g)を混ぜて密封してガラス壁面にできる気泡

６.３節　水面より上部のガラス壁に付着する物質

6.3.a　炭酸水に鉄粉とＣａＣＯ$_3$を混ぜた水の水面上のガラス壁に付着した物質

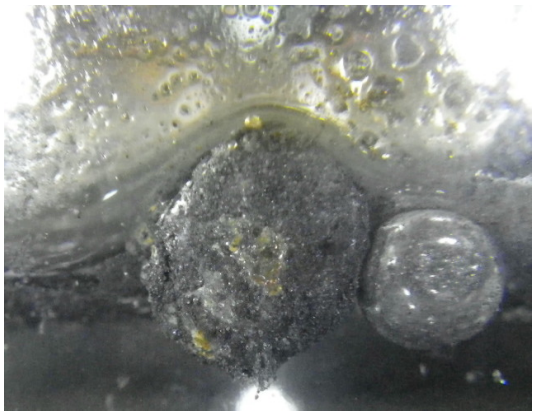
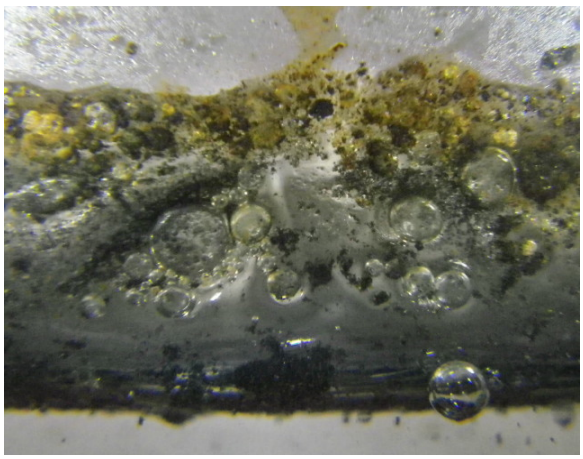


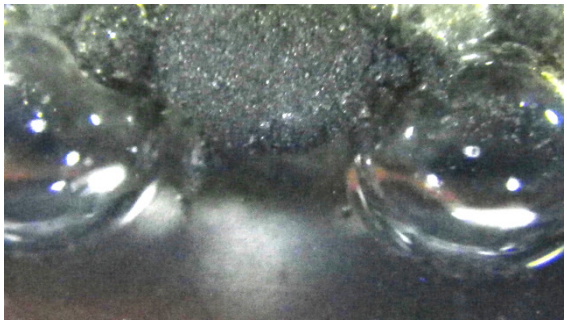
図３５　炭酸水に鉄粉と炭酸カルシューム($CaCO_3$)を混ぜて 3 日間経過した状態

図３５に示すように水面より上のガラス壁では、時間が経過すると、ガラス壁に付着した物質が多くなります。

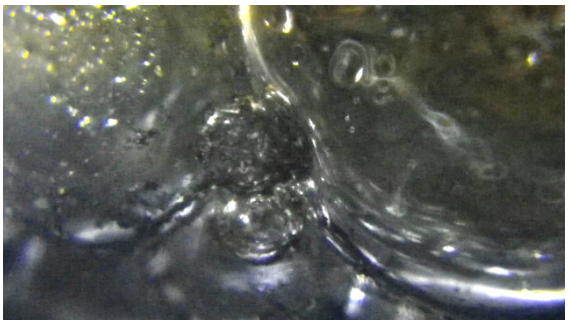
数日を放置しておくと、気泡が消えて、底には沈殿物、水面には浮遊物、水面より上部のガラス壁には付着物が残ります。**図３６(b), (c), (d), (e), (f), (g)**に示すように、水面より上部のガラス壁に付着した物質は様々な物質があります。



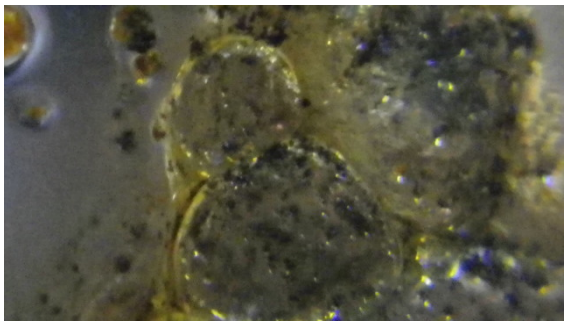
(a)　水面付近の浮遊物及び気泡**[48** 時間経過後撮影**]**



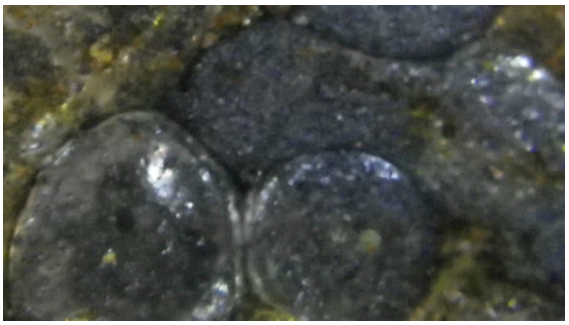
(b) ２種類の気泡



(c)他の気泡に歪を与える気泡



(d) ゴマのような固形物質の分布



(e) 内部で部分的に変化した気泡

図３６　炭酸水に鉄粉と炭酸カルシュウムを混ぜて生成されてた水面付近の物質

第６章のまとめ

鉄炭化物気泡の膜はガラスや岩石などのケイ酸塩に付着します。また、気泡が破裂する際に気泡に含まれていた固体の物質が水面より上のガラス壁に付着して残ります。鉄炭化物気泡は気体に接すると変色します。こうして気泡の生態系において、化学進化が進められ生命が誕生したと考えられます。

あとがき

炭酸水と鉄の反応で酸化鉄と鉄炭化物が作られました。 その鉄炭化物が水と反応して、 酸化鉄と遊離水素原子と遊離炭素原子を作り出します。その遊離水素原子と遊離炭素原子が気泡を作ります。 その泡は 気泡を作り出す鉄炭化物を含んで浮上します。内部に多くの気泡を作り続ける気泡は壊れにくい構造です。

ところで、原子の性質は電子状態によりますが、その原子の性質は置かれた状況によって相違します。 原子が取りうるどの電子状態になるかは置かれた状況によります。各々の原子が周囲の原子と相互作用 して状況に適合した電子状態となります。それらの原子の集まりが分子となり、その分子が他の分子と相互作用して組織をつくります。その環境に適した分子の組織は長期間にわたり存在します。 その分子組織が長時間に及び存在しておれば 同じ分子組織を作る別の分子組織を作ることを可能にします。
原子の適応性は分子の金型のような分子を容易に作り、それによって分子のコピーを作ります。そして、大量生産は引き起こされました。 こうして適応した分子組織において必要な分子が自然淘汰によって進展しました。

このように最初の生命 のための基盤が泡の生態系で形成されたという説明をこのウェブサイトで述べました。