炭素の生物作用—炭素の波動から細胞音波へ

松橋通生, 遠藤 桂

(平成10年9月4日受理, 平成10年10月10日採択)

Biological Effect of Carbon—from Carbon to Biosonics

Michio Matsuhashi and Katsura Endoh

Carbon materials such as graphite exert growth-promoting effect on bacteria *Bacillus carboniphilus* through emitting (ultra-) sonic signal created by photo-acoustic effect.**KEYWORDS** : bacterial growth, biosonics, carbon, graphite, photo-acoustic

1. はじめに

炭素は不思議な元素である。ダイヤモンドの硬度と輝度に始まり、耐酸性、耐アルカリ性、耐薬品性に加えて、黒鉛系炭素の示す思いもかけない多様ですぐれた性質はこれに関わる人の驚嘆を誘い続けている。同じように、炭素の生物に対する作用の研究も、思いがけないことの連続であった。しかし一般にはずいぶん前から炭は植物の栽培に用いられており、炭の粉が胃腸内の解毒等の医療に用いられたりしていた。だがそれらの効用が何か学問的にしっかりしていないように見えたのは、人々の勘に頼り、研究の手法が充分科学的でなかったことばかりでなく、後で述べるように、色々と今も我々の知らない、または我々の制御しきれない要因が関与していたからではなかったかと思われるのである。また木炭が与える水はけのよさ、活性炭の優れた物質吸着性等の際立った性質が、黒鉛系の炭素の持つ本質的な働きを人々の目から覆い隠していた様にも見える。

比較的きっちりした実験結果の得られたのは淋菌や、在郷軍人病の病原体であるレジオネラ菌等の培養に活性炭粉末を培地に加えると有効であるという知見であろう^{1)・3)}。これらの細菌の活性炭要求性が何によるのかは必ずしも明らかでなく、しかもこれらの菌がみな同じ理由で活性炭を要求しているのかどうかはまだ分かっていない。初めにまず人々の頭に浮かんだのは活性炭の持つ大きな物質吸着能であった。活性炭は当該細菌にとって害になる物質を吸着して除くという解釈である。しかし活性炭とその数百から数千分の1も吸着能力の低い黒鉛等炭素標品（これらをこれから総称して炭素と呼ぶ）の吸着能力を細菌増殖促進作用と比べても、その間にははっきりした量的関係が見出された訳ではない。炭素は恐ら

く培地中に生じた活性酸素を吸着または解毒するのであろう、というのが次に、より考えの深そうな解釈である⁴⁾。

2. 活性酸素の解毒

炭素が直接培地中の活性酸素を除くことは確からしい⁴⁾。しかし、生体に働いてこれに打ち勝たせる機構を持っている可能性もまたかなり高い。菌体は種、すなわち遺伝的な素因により、また環境条件により、致死量の superoxide 等の活性酸素を過量に生成して自ら増殖ができなくなることがある。これは培地にアスコルビン酸（ビタミンC）を添加することによって解毒され、炭素粉末の添加によっても増殖が回復する。例えば血色素ヘムタンパク質の合成に関する一つの遺伝子を欠損する大腸菌の変異株⁵⁾や、野生型の（要するに普通の）枯草菌等に可視光線を当てたとき⁶⁾、これらの細菌は生じた活性酸素のためか通常の富栄養寒天培地上でコロニーを作れない。これらの増殖回復にアスコルビン酸や炭素が有効なのは素直に理解できる。レジオネラの場合は特別な遺伝子の変異のない、いわば野生型株にそのまま見られる現象であり、光照射も必要でなく、生まれながらにして活性酸素に弱い体質を持っているためらしい⁸⁾。淋菌¹⁾ その他²⁾ の場合も皆そうであるかは分からない。また、1つの原因が突きとめられてもこれですべてということにならないのが炭素の問題の不思議さである。

3. 炭素の生物作用に関する新しい機構—音波／超音波シグナル—の発見

確かに一部の菌に対してはこのような効き方があったとしても、炭素の及ぼすもっと本質的な対生物作用機構は、かなり別のところにあった^{7)・9)}。結論をいえば、炭素は赤外線等の

Fig.1 Graphite-dependent growth of fresh cells of *Bacillus carboniphilus* on a plate under high-KCl stress⁸⁾. Vegetative bacteria (17,000 variable cells) were inoculated on a two-fold diluted Penassay-1.5% agar plate containing 1% added KCl by using a horizontal motion to form a gradient of viable counts from the top of the plate to the bottom. The right half of plate was covered with sterilized graphite powder. Then the plate was inoculated for 4 days at 44°C in a thermoregulated incubator.

電磁波の断続波をうけて、これを超音波と思われる物理的シグナルに変えて生物に働きかけるのである。このことは文献にみる限り誰も考えたことはなかったようだし、私達がこれを発表しようとしたときには微生物学者や生物物理学者のひどい抵抗や無視があった。今でもまだ国外の雑誌で、科学に携わっている人とは思えない感情的なレフェリーに遭遇する。しかしこの概念によって今まで理解できなかった現象が説明できるようになり、しかもその性質は炭素に限らず、多くの物質も弱くはあっても持っていることが分かった¹⁰⁾。さらに最も重要なことは、そして困ったことに上記の反対者たちが最も許せなかったのは、炭素の問題から生物細胞の音波／超音波（バイオソニックスと名付けることを提唱した¹¹⁾）によるシグナル伝達-細胞間コミュニケーションの存在が提示されたことであった^{11)・14)}。

増殖に炭素を要求し、そして超音波に対して応答性の極めて良い新種の細菌—*Bacillus carboniphilus*（好炭素バチルス菌）の数株（カスミ株1から6まで¹⁵⁾）を愛鷹山霞地区の空気

Fig.2 Dependency of growth of *B. carboniphilus* under KCl stress in a Petri dish on the amount of carbon in another Petri dish stacked together : remote growth-promoting effect of graphite and its inhibition by sheltering. Bottom : construction of apparatus and sheltering in an iron box; Top : carbon amount-colony-forming efficiency relationship. A polystyrene Petri dish (900×15mm) containing various amounts of the powder of carbon was placed on a polyethylene disk (cover of the container), and another Petri dish containing a stress agar plate inoculated with about 10⁴ spores of *B. carboniphilus* strain Kasumi 6 was placed inversely on the first dish. The two dishes were encased together in a cylindrical polypropylene container (120mm wide, 80mm high and 2mm thick) and incubated in a thermoregulated incubator for 2 days at 44°C. The formed colonies were counted. Ordinate : colony-forming efficiency in % of inoculation. Abscissa : amount of carbon in mg.

中から偶然分離したことがすべての引き金となった。この菌株は黒鉛、木材や砂とかのような色のついた、または多孔質の物体、あるいは固い寒天表面等に接着して増殖し、液体培地中では極めて生えにくい。一般に枯草菌や大腸菌のような好気性細菌を培養するには液体培地中で静置または振とうするか、栄養を含む寒天固形培地（通常1.5%の寒天で固めたもの）の表面に植え付けて恒温器内に一日から数日置くのが普通であるが、*B. carboniphilus*は後者で培養する。

1.5%の寒天で固めた水2倍希釈ペナッセイ培地という富栄養培地に同菌を蒔いて43-44℃に置くと、この菌特有のべったりの皮膜のようなコロニー（単一の細胞またはその小さな集団から増殖して固形培地上で目に見える大集団になったもの）が現れる。しかしこの固形培地の中に1%のKClを加えると（ストレス栄養寒天プレートとよぶ；なお元々ペナッセイ培地中にあったカリウムとナトリウムの合計した塩濃度は0.1M程度）、コロニーはできなくなる。この寒天プレートの表面半分にグラファイトの粉末を適当に薄く撒いて培養すると、グラファイト粉末を撒いた部分にのみ、コロニーの生成がみられる（Fig.1）。活性炭やフラーレンでも同様である。これらは直接寒天培地上の細菌に接触していなくても同様な増殖誘導／促進作用がみられる。すなわち炭素をポリエチレンの小さな袋（厚さ30μm）に入れてシールして寒天培地の上にのせても炭素の入っている袋の周囲からのみコロニーの生成が始まる⁹⁾。さらに菌を蒔いたストレス栄養寒天プレートに入ったシャーレの上か下に炭素粉末の入ったシャーレを重ねても、2枚のシャーレの壁を越えて炭素（黒鉛）の量にはほぼ比例して同菌の増殖誘導／促進がみられる（Fig.2）。ダイヤモンド粉末にはこの作用はない。

しかしここでたいへん重要なのは、Fig.2のように実験系、すなわち細菌と炭素のそれぞれ入った2枚のシャーレを一緒にブリキの箱に入れるか、アルミホイルで覆うかすると、このような炭素からの遠隔効果がまったく失われてしまうことである。このことは炭素という、自分でエネルギーを作り出すことのできない生命のない物質が、なんらかの外部エネルギーの入射を受けてこれを細菌の増殖促進のシグナルに変えていることを示唆する。このシールド効果は金属板またはホイルで密に覆うことが必要で、ポリプロピレン、ポリ塩化ビニリデン（サランラップ、クレラップ）等のプラスチックや金属の網では効果がないことから（Table1）、炭素に入射してシグナルに変わる外部エネルギーは赤外線、可視光線等の電磁波である可能性が高い。

Table 1 Sheltering of growth-promoting effect of graphite⁷⁾.
For experimental detail see the legend to Fig.2.

Sheltering material	Sheltering effect (%)	Colony forming efficiency in control omitting graphite (%)
Iron box (0.3μm thick)	100	0
Aluminum foil (2×15μm thick)	93	0
Stainless steel net (1.8mm mesh)	27	0
Polyvinylidene chloride film (10μm thick)	0	0
Large polypropylene container (3mm thick)	0	0

それでは次に炭素から発信されると考えられるシグナルは何であろうか。それを明らかにするためには、まずシグナル発信者の炭素と受信者の細菌とを膜で完全に分離してみる必要がある。Fig.3に示すような半球形のアクリルの容器2個を用いて、間に厚さ15μmのアルミホイルや、厚さ10μmのポリ塩化ビニリデン膜をはさむと、増殖誘導／促進効果はまったく失われるが、厚さ30μmのポリエチレン膜では遮られない。ポリ塩化ビニリデン膜は化学物質は通さないが電磁波を通すから、このシグナルが電磁波でないことは明らかであるが、ポリエチレン膜は或程度大きな気体状の化学物質を通すので、これではまだ物理的シグナルか化学物質かの決め手にはならない。そこでFig.4のように、2枚のシャーレをポリプロピレンの容器に入れ、2枚の間にシャーレと同じ大きさのクッションをはさむ。ポリプロピレンの容器はシャーレよりずっと大きいので、2枚のシャーレの間に空気は自由に行き来することができる。クッションとして厚さ0.3mmの円形の鉄板の板をポリ塩化ビニリデン膜で2重に包んだものを入れると、シグナル伝達はほぼ完全に遮断されるが、鉄板だけではあまり遮断されない。この実験から、シグナルは化学物質ではなく、物理的なもの、恐らく波動であることが推論される。

では外部の物理的エネルギー入射を受けてこれを物理的シグナルに変える機構があるとすれば、これは何であろうか。最も考えやすいものは、今から120年前、Alexander Graham Bellが見出して光電話に利用した現象で、さまざまな色のついた物質、または多孔質の物質に光線のパルスを当てると、そ

Apparatus	Carbon textile	Separating material	Colony-forming efficiency (%)
—	None	0.0
	+	None	29.9
	+	Polyethylene film (30 μm)	23.9
	+	PVDC film (10 μm)	0.0
	+	Aluminum foil (15 μm)	0.0

Fig.3 Effect of separating carbon from bacteria with film of different materials⁷⁾. Experiment using two equal brimmed acrylic hemispherical boxes stacked together. The bottom semispherical box contained a polystyrene Petri dish containing a stress agar plate inoculated with spores of *B. carboniphilus* and placed normally in the box. The top hemispherical box was covered with a square sheet (88×88mm) of carbon textile on the inside. The two hemispherical boxes were separated by a sheet of polyethylene (30μm thick), polyvinylidene chloride (10μm thick), aluminum (15μm thick) or nothing. Boxes and sheets were sealed with a high-vacuum silicon grease (Dow-Corning) and fastened tightly with a couple of steel pinches. Incubation was performed in a thermoregulated incubator for 2 days at 44℃.

Apparatus	Cushion	Colony-forming efficiency (%)
None	20.3
	Iron disk (0.3mm-thick)	8.2
	Iron disk wrapped in polyethylene film	2.4
	Iron disk wrapped in PVDC film	1.1
	Iron disk (control without graphite)	0.0

Fig. 4 Inhibition of signal propagation from graphite by different materials. Numbers indicate mean values of duplicate experiments performed on different dates and at different locations in a thermoregulated incubator at 44°C for 2 days⁷⁾.

の波長の周波数と同じ周波数の音波が発振されるというものである¹⁶⁾。これは光線のパルスが当たった物体とその表面に接する空気がパルスと同じ周波数で熱せられ、次に冷やされて、空気の膨張と収縮に変わり、すなわち音波となる原理で、これを光音響 (photo-acoustic) 効果と呼ぶ。木材や、砂、チョーク、種々の鉱物、および金属がこのような働きをするが、不思議なことに黒い炭素は透明なガラス片とともにこの作用が無かったという¹⁶⁾。もしこの最後の部分が本当だとすれば、炭素は可聴音波の周波数領域の光パルスを音波にしにくい特異性を持っているとしか考えられず、ここにもまた炭素の持つ不思議な性質の一端が現れているのであろうか。

4. 炭素による光音響効果のマイクロバイオアッセイ

炭素による光音響効果をマイクロホンを用いたスペクトロメトリーで測定するのは Alexander Graham Bell も失敗したことであるし、私どもも生物学を専攻する者にはやや難しすぎるので、*B. carboniphilus* の増殖を指標としたマイクロバイオアッセイで行った^{17), 18)}。装置を言葉で説明すると、ストレス栄養寒天プレートに指示菌の *B. carboniphilus* を蒔いたシャーレの上に2つめのシャーレを重ね、その中にアルミホイルを敷いて黒鉛粉末 100-500mg を置き、その上方に発光ダイオードを設置して、これに同菌の感ずる (正に応答する) 音波の周波数^{11), 14)} の1つである 20kHz のパルス電流を流し、コロニー形成率を計数する。シャーレ2枚と発光ダイオードをポリプロピレンのケースで覆った実験システムをアルミホイルで2重に遮蔽しておく、電流を通じないコントロールがゼロに近い値になる (ゼロにならなかった理由は後に述べる)。アルミホイルの下敷きだけにすると、まったくコロニーの生成はない。ダイオードは 660nm の赤色光と 950nm の赤外線の間を使っても同様であった (文献^{17), 18)} および論文投稿準備中)。20kHz 以外のパルスについては後述の鉛を用いた実験結果があり、炭素の結果も早く補完したい。しかしともか

Fig. 5 Scheme showing the effect of carbon material on the growth of bacteria by converting pulses of external energy into sound.

くこれらの実験結果は、Fig. 5 に示すような光パルス - 音波変換が炭素等の上で起こって細胞にシグナルを送っていることを示している。

B. carboniphilus はスピーカから発せられた 6 から 40kHz の微弱な超音波に応答して、普段は生えることのできない 1% の KCl を加えたストレス栄養寒天培地に増殖し、応答のピークは 8.5, 19, 29-37kHz にあって、このピークがマイクロホンを使って検出した枯草菌の発信する音波と共通することから、少なくとも枯草菌と *B. carboniphilus* の近辺のバチルス属細菌の間ではこれらの周波数の超音波が細胞間コミュニケーションに使われているのではないかと想像される^{11), 12), 14)}。しかしスピーカからは或る強さ以下の音波は発振できないので、機械的震動 (vibration) を完全に除くことができず、また必要以上に強力な音波を聞かせている問題点があった。光音響効果を用いてそれより遥かに微弱な音波を細菌に聞かせて応答させることができたのは細菌による音波応答の事実をスピーカ以外の方法でも明らかにできたという意義があった。

5. 音波は結晶面のどの方向に発振されるか

黒鉛はその結晶方向によって構造も物理的性質も著しく異なっているから、生物に作用する音波発信の性質もまた異なっていると考えられる。黒鉛が光のパルスを摂受してこれを音波に変える光音響効果の機構を研究して、この音波発振がどのようにして行われ、結晶軸のどの方向に向かうかというようなことは、理論、実験とも炭素の物理学の専門の方にして頂きたいと思うが、微生物の増殖を指標としたマイクロバイオアッセイで見られる限りは、私どもの手で行える範囲があるので、若干の実験と考察を行う。

都合で図には示さないが、黒鉛の単結晶 (スーパーグラファイト) を、*B. carboniphilus* を播種したストレス栄養寒天プレートの入ったプラスチックシャーレの蓋の上に置いて 44°C 恒温器中で培養する。もし光音響発振が結晶格子を震わせて結晶の c-軸すなわち平滑な結晶面と垂直の方向に向かうのなら、単結晶の平滑な面をシャーレの蓋の上に接して置いたとき、シャーレ内の菌の増殖が誘導されるであろう。もし接して置いた面に関係なく菌が増殖したり、平滑面を垂直に置い

たときのみ菌の増殖があれば、光音響効果は結晶格子と関係ないか、結晶表面の空気温度上昇と降下の問題であるのか、あるいは結晶格子の変形やズレが関係するののかということになるが、実験の結果は最初のケース、すなわちc-軸方向への発信を示した。ただしスーパーグラファイトの結晶に大きさの制限があり、数十ミリグラム程の小さい立方体の結晶は得にくい為、結晶の大きさと作用との間に黒鉛の粉末のような直線関係 (Fig.2参照) がとらえ難く、大きすぎれば阻害が現れやすい。これらの難点を克服してから、正確な結果を報告したい。

6. その他の有機物質と無機物質

Alexander Graham Bell の光電話の結果とはほぼ一致して、私達の細菌増殖誘導／促進効果も、さまざまな有色／多孔質物質で認められたが³¹⁰⁾、その効果の強さばかりでなく、どんな細菌にどのように効くか、といった特徴もまたさまざまであった。なかでも金属鉛は強い作用を持ち、炭素のように発信するシグナル作用がそう簡単には障壁で遮られない。これらは物質毎に音響に変換しやすい光パルスの周波数等の特性が異なる可能性がある。金属鉛を用いて光音響発振の実験を多く行いスピーカと光音響との対応関係を確認している (文献¹⁷⁾ -¹⁸⁾ および論文投稿準備中)。

7. あとがき－まだ私達の知らない不思議なことがいっぱいある

私達が炭素の音波発振に気がついたのは1994年のことであったが、そのかなりのことが分かってくるまで4年もかかった。その原因の1つは、自然における炭素の生物効果は外部からくる電磁波のようなもの、これを冗談に「天の声」と呼んでいるが、実験がこれによって引き回されることが多かったからである。例えば1995年の5月から10月まで、「天の声」は静岡愛鷹地区ではぴったりやんだ (同じ時期、欧州のベルギーでは異常がなかった)。また1998年の2月から7月まで、「天の声」はシェルターをものともせず鳴り響く感じがし、シェルターのない所ではかえって増殖阻害がみられた。最も手を焼いたのは、恒温器や恒温温室の机の上で、シャーレ1個の場所の違いで結果に変動があることが多く、しかもその傾向が毎日変化したことである。したがって実験はコントロール実験と左右取り替えてそれを複数回行い、毎回同様な結果がでたときのみ有意の結果とするため大変な時間がかかった。そのうえこの様に毎回変化の激しい時期には沢山の測定値を平均して得られるコントロール実験やシェルター実験の値もきれいにゼロにならないことが多かった。

このような場所的条件の不均一性を最小にするため、電動のターンテーブルを恒温器中に設置して、シャーレを円形一列に配置して培養するようにした。この方法は、きれいで論理的な、そして再現性の高い結果を得るために素晴らしい効

果を示した。しかもそればかりでなく、不思議なことに静置では十分に現れなかったシェルター効果が完全に現れる傾向がみられた。結果がシャーレごとに均一になるだけなら理解できるが、静置で現れにくかったシェルター効果がターンテーブル上で回転させると現れた (コロニー形成がゼロになった) のはなぜであろうか。私達はこの私達の周りの空間にさまざまな電磁波や音波等の振動が充満していることは知っているが、それらの中には私達のまだ知らない、あるいはまだ同定できていない「天の声」があると思われる。しかもそれらは場所によって均一でなく、時間によって不均一性がゆっくりと移動していると想像することが許されれば、上記のことは理解できる。細菌はストレスによって抑えられている増殖を開始するためには、増殖促進誘導シグナルにある一定時間さらされている必要があると仮定すると、1分間に2回転する円卓の上に乗せられた細菌はこのような不均一な「天の声」では増殖を開始できないであろう。またターンテーブルを右回りに回転させた方が左回りよりも揃ったよい結果を与えやすいようであったが、これが有意の差であるかどうか、またもしそうであればそれは何故なのかは今後明らかにしていきたい。

この様に、生物の反応ばかりでなく、炭素の物性から地球環境のミクロの物理現象まで、いまだ生物学者も物理学者も知らないことが我々の周りには多くあるのではなからうか。炭素の生物作用の研究は図らずも我々に自分達の無知を知らしめる扉を開いてくれたように見える。しかしそういう理屈とは別に、環境浄化¹⁹⁾ 分野で炭素の素晴らしい応用面が着実に進展している。炭素や音波の応用は医用にも大きく役立つ可能性を秘めている。そのような前途に、我々は未知の、驚くべきものを見ている、という確信を持って向かって行くべきであろう。

謝 辞

本研究は文部省科学研究費基盤研究、同特定研究カーボンアロイ、新技術事業団創造科学技術推進事業吉村π電子物質プロジェクト、NEDO地域コンソーシアム、高橋財団、サウンド財団のご援助を得て行われたものである。この場をおかりして御礼申し上げる。

文 献

- 1) V. Glass and S. J. Kennett, *J. Path. Bact.* **49** (1939) 125-133.
- 2) L. Mishulow, L. S. Sharpe and L. L. Cohen, *Amer. J. Publ. Health* **43** (1953) 1466-1472.
- 3) J. C. Feeley, R. J. Gibson, G. W. Gorman, N. C. Langford, J. K. Rasheed, D. C. Mackel and W. B. Baine, *J. Clin. Microbiol.* **10** (1979) 437-441.
- 4) P. S. Hoffman, L. Pine and S. Bell, *Appl. Envir. Microbiol.* **45** (1983) 784-791.
- 5) K. Nakahigashi, K. Nishimura, K. Miyamoto and H. Inokuchi, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **88** (1991) 10520-10524.

- 6) 渡辺 寛, 遠藤 桂, A. N. Pankrushina, 林真紀夫, 金子友彦, 大谷杉郎, 松橋通生, 第17回日本分子生物学会, 神戸, 1994.12.13-16, **1-2G-323** p.254.
- 7) M. Matsuhashi, K. Endoh, A. N. Pankrushina, H. Watanabe, H. Yamamura, M. Komiya, S. Endo, M. Tobi, H. Ohshima, Y. Mano, M. Hyodo, T. Kaneko and S. Otani, *J. Gen. Appl. Microbiol.* **43** (1997) 225-230.
- 8) M. Matsuhashi, A. N. Pankrushina, K. Endoh, H. Watanabe, Y. Mano, M. Hyodo, T. Fujita, K. Kunugita, T. Kaneko and S. Otani, *J. Bacteriol.* **177** (1995) 688-693.
- 9) M. Matsuhashi, S. Takeuchi, A. N. Pankrushina, K. Endoh, H. Watanabe, S. Endo, N. Hiraoka, M. Tobi, H. Ohshima, H. Miyoi, K. Murayama, H. Yamamura, Y. Kaneko and S. Otani, Supercarbons—Synthesis, properties and applications (Eds. : S. Yoshimura and R. P. H. Chang) (1998) in press, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg and New York.
- 10) M. Matsuhashi, H. Ohshima, H. Yamamura, K. Endoh, S. Endo, H. Watanabe, T. Tsuchida and A. N. Pankrushina, The 9th International Conference of Bacilli, Lausanne, Switzerland, 1997.7.15-19, G146.
- 11) M. Matsuhashi, A. N. Pankrushina, S. Takeuchi, H. Ohshima, H. Miyoi, K. Endoh, K. Murayama, H. Watanabe, S. Endo, M. Tobi, Y. Mano, M. Hyodo, T. Kobayashi, T. Kaneko, S. Otani, S. Yoshimura, A. Harata, and T. Sawada, *J. Gen. Appl. Microbiol.* **44** (1998) 49-55.
- 12) M. Matsuhashi, A. N. Pankrushina, K. Endoh, H. Watanabe, H. Ohshima, M. Tobi, S. Endo, Y. Mano, M. Hyodo, T. Kaneko, S. Otani and S. Yoshimura, *J. Gen. Appl. Microbiol.* **42** (1996) 315-323.
- 13) M. Matsuhashi, A. Shindo, K. Endoh, H. Watanabe, M. Tobi, S. Endo, H. Ohshima and A. N. Pankrushina, Antibacterial Therapy—Achievements, Problems and Future Perspectives (Eds. : W.-D. Busse, H.-J. Zeiler and H. J. Labischinski) (1997) pp.17-26, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg and New York.
- 14) 松橋通生, 生物物理 **38** (1998) 印刷中.
- 15) T. Fujita, O. Shida, H. Takagi, K. Kunugita, A. N. Pankrushina and M. Matsuhashi, *International J. System. Bacteriol.* **46** (1996) 116-118.
- 16) A. G. Bell, *Am. J. Sci. Arts Ser. 3*, **20** (1880) 305-324.
- 17) M. Matsuhashi, H. Yamamura, K. Endoh and H. Ohshima, The 10th International Conference of Bacilli, Osaka, 1998.7.12-15, 67.
- 18) M. Matsuhashi, K. Endoh, H. Ohshima, H. Yamamura, S. Endo, S. Takeuchi, S. Takayanagi, A. N. Pankrushina, T. Kaneko, S. Otani and S. Yoshimura, The International Symposium on carbon—Science and Technology for New Carbons, Tokyo, 1998. 11.8-12, in press.
- 19) 小島昭, 月刊「水」**39** (1997) 35-40.