

70年代の科学に Green Science を

大阪大学工学部 堀 繁

米国の有名な出版社 Mac Graw-hill によって行われたアンケートによると1970年の科学として Life Science または Biology が主体となるという意見が著しく多いとのことである。

これは技術革新に伴う物質文明の欠陥が公害の形で表われ、科学の行き詰りが如実に示されたものと痛感され、今後はあまりに Dry すぎた科学および科学者の反省の時期に到来したものと考えられる。

この情勢の下に科学者は自然に帰れという言葉が強く叫ばれ、今後の方向は人間性を重視した Life Science の研究に重点がおかれることは必至であろう。

Life Science は、しかし乍ら極めて広い意味をもち各専門分野によってその解釈は可なり相違するわけであるが、石油化学、合成化学が専門である筆者は Life Science に対する Chemical Approach と解したいところである。

さて最近大きな問題となっている公害についても各専門によって、それぞれ違った解釈がなされているが、公害の正体が明かになれば、これは既に公害の枢から除外されるという人々も少くない。

たとえば、ある企業からの排気ガス、工業廃水の分析値が明かになれば、これに対する処置のいうことは何らかの手が打てるわけであるが、河川の汚染のときのように、数多くの工場からの廃水によって複合的に公害をおこしたときには、どこに責任があるかの解釈が特に法的には著しい困難を伴うわけである。

大気汚染についても工業廃水以上にその解決が困難である。

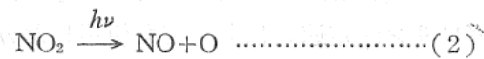
たとえば、現在問題になっている亜硫酸ガス(SO₂)汚染については SO₂ そのものよりも、これの酸化によって生成する SO₃ 引いてはミ

ストが著しく公害を与えるものと信じられる。

SO₂ の SO₃ への酸化は仲々難しく、工業的には五酸化バナジウム触媒を用い高温で酸化行程が行われているが、大気中では、SO₂ を SO₃ に酸化する活性酸素があるに違いない。

これについては、まず窒素酸化物が関与しているものと考えられる。

窒素酸化物(NOを代表する)は自動車の排気ガス、工場煙突から排出されるわけであるが



のようにして光反応によってオゾンを生成する。しかして(2)式で生成した NO は、くり返し(1)(2)(3)の反応によって、少量の NO が空気中にあれば、理論的には無限大のオゾンを生成することになる。これは勿論反応停止の因子が含まれるわけで、そう多くのオゾンが実際上できるとは考えられない。しかし(2)(3)式でできる O、O₃ は明らかに SO₂ を SO₃ に酸化する能力を有するであろう。

窒素酸化物の公害は(1)(2)(3)式からみて、有害なものは NO₂、オゾンということになるが、両者単独ではそう大きな害を与えるとは考えられず、たとえば雷の発生によって当然上記の(1)(2)(3)式の反応がおこるわけで、雷の直後に来る烈しい雨によって地中の Ca、Mg などに反応し、良好な肥料として役立つことになる。

雷の多い年にはお米がよくできるの昔からの言伝えは上記の事実を如実に示すことになる。

しかし雨が少なければ



となって植物の葉に付着し、公害を与えることになる。

さて窒素酸化物に加えて自動車の排気ガス中の炭化水素が関与すると、現在騒がれている光化学スモッグをおこすことになる。

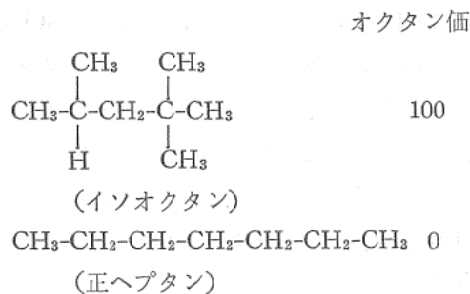
まず、第1表にガソリンエンジンの運転条件による排気ガスの変化を示す。

第1表 ガソリン・エンジンの運転条件による排気ガスの組成の変化

アイドリング	加速時	定速時	減速時
一酸化炭素(%) 4~6	0~6	1~4	3~4
酸化窒素(ppm) 10~50	1,000~ 4,000	1,000~ 3,000	10~50
炭化水素(ppm) 500~1,000	50~500	200~300	400~ 12,000
未燃焼ガソリン 4~6 (対供給ガソリン)	2~4	2~4	20~60

第1表において、まず注目すべきは、未燃焼ガソリンが定速時においても使用したガソリンの2~4%が大気中に放出されることである。

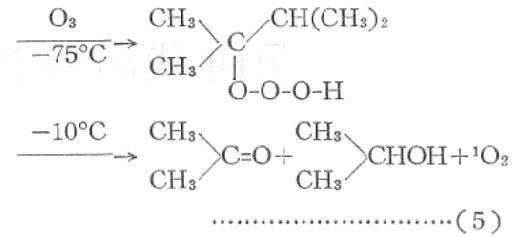
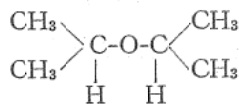
自動車に用いられるガソリンの評価はオクタン価をもってなされる。その標準は



一般的に板分れの多い炭化水素がオクタン価が高く、正ヘプタンのように直鎖のものはオクタン価が極めて低く、たとえばイソオクタンと同じ炭素数(8)の正オクタンのそれは-23といわれている。

枝分れの多い炭化水素は一般的に活性な水素(第3級水素)をもっており、これが光化学スモッグと密接な関係をもっている。

この方面の基礎研究はイソプロピルエーテルを用いて行われた。



$^1\text{O}_2$ は Singlet oxygen で、普通空気中に存在する酸素 ($^3\text{O}_2$, Triplet) が 22 Kcal/mole のエネルギーが与えられるときに生成する活性酸素分子である。

$^1\text{O}_2$ は空気中の窒素と反応して NO を与える

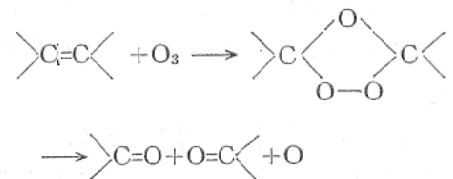


(6)式によって生成した NO は追加的に (1) (2) (3) 反応を促進して O_3 , O , $^1\text{O}_2$ を生成せしめる。

すなわち、自動車の排気ガス中の炭化水素の放出は O_3 , O , $^1\text{O}_2$ の生成を促進し、引いては $\text{SO}_2 \rightarrow \text{SO}_3 \rightarrow$ 硫酸ミストの増加を来すことになる。

一方自動車の排気ガス中の炭化水素は未燃焼ガソリンのみではない。

炭化水素の主成分はメタン (14.7%) エチレン (14.5%) およびアセチレン (14.1%) で、その他プロピレン、ブチレンのようなオレフィンが存在し、これらのオレフィンはオゾンと低温で反応し、アルデヒド、ケトンとなる



たとえばエチレンからは2分子のホルムアルデヒド、プロピレンからは1分子のアセトアルデヒド、1分子のホルムアルデヒドとなる。ホルムアルデヒドは刺戟臭で知られている。

O_3 , O , O_2 は炭化水素と反応して酸、酸エステル特に NO_2 , NO エステルとなり、これらは光化学スモッグの主成分となる。

1. Green Science の意味するもの

自動車の急増、さらに火力発電の規模拡大化

に伴って、酸素不足の問題が大きくクローズ・アップされてきた。

たとえばメタン1 tを炭酸ガスと水とに完全燃焼せしめるためには4 tの酸素を必要とし、これに伴って約2.8 tの炭酸ガスが副成する。

勿論自動車のときには燃焼速度がある不完全燃焼のときに最大となることから、ガソリン1 t当り3.0~3.5 tの酸素が消費されるわけであるが、このときには一酸化炭素の副成を免れない。

つぎの第2表に燃焼の種類による排気ガスの組成の変化を示す

第2表 デーゼル、ガソリン、プロパン燃料のバスの排気ガス (定速状態)

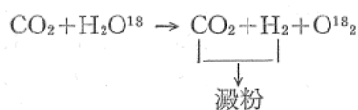
	CO(%)	炭化水素 (ppm)	酸化窒素 (ppm)	ホルムアルデヒド(ppm)
ディーゼル	0.0	90	237	11
ガソリン	3.4	320	653	7
プロパン	1.75	330	2052	23

ディーゼル機関においては一酸化炭素の副成は皆無に近く、またプロパンガスを燃料としたときに、酸化窒素の副成が異常に大きいことは注目に値する。

ここに副成一酸化炭素が植物に対してどのような影響を与えるか、また酸素不足、炭酸ガスの増加についても大いに考える必要があるであろう。

それでは、まず地球上の酸素はどのようにして供給されるであろうか。結論的には植物の葉上における同化作用に依存する他はないといわれている。

すなわち、 O^{18} でラベルした水を用いて同化作用せしめた結果は空気中の酸素は O^{18}_2 であり、よって同化作用は



このときに、太陽の光が関与することは、ここに述べるまでもないが、吸収された光エネルギーの僅か0.2%位が同化作用に役立っている

にすぎず、よってもっと効率上昇ができないかと何人も考えるところであろう。

これに対し南洋地域の植物は日本のそれに比べて8倍の能率化を行っている由であるが、高温によるものと考えざるを得ないであろう。

上述のように陸上の酸素供給は植物しかないとするれば、地心市域から街路樹が駆逐されている今日、また街路樹があっても、ほとんど手当らしい手当をうけておらず、公害によって死寸前であることを考えるとき、近い将来陸上における酸素不足対策は真剣に考える可きことではあるまいか。

筆者は御堂筋で数しれない多くの自動車が引切りなしに烈しい流れで走っているのを目の前でみる度毎に、空気中の酸素が急速に減少しているのではないかと身にしみて感ずる次第である。勿論高速で走っている自動車の後部には真空地帯を生成し、大気中からの真空吸引による酸素の急速な補給を考えられないかもしれないが、これも時間の問題ではあるまいか。

幸い日本は四方海に取囲まれている。そして海草、プランクトンによる酸素の発生量は陸地よりも多いとされている。たとえば陸地：海の酸素発生割合は3：7、1：5あるいは1：10と推定されており、何れにしても海からの酸素供給が陸地からのそれに比べて多いことは間違いないようである。

しかし海面に油が浮べば、炭酸ガスの海水への吸収も妨げられ、海草の成育も止まるわけで、オイル・タンカーからの石油の海への「タレ流」は嚴重に禁止すべき時期に到来したのではあるまいか。

これについては、最近積極的に進められている海底油田の開発が心配の種であり、一発当れば海水汚染は必至となるであろう。

このように考えてくると、酸素不足対策として植物の生長促進、公害に対する対策、引いては緑化産業の開発をまず「第一に」と強く主張したいところである。筆者の提案する Green Science も原則的には上記の目的達成のためであるが、この意味において、最近大阪においてビル屋上の緑地帯化がぼつぼつ行われてきたこ

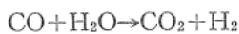
とは喜ばしいことである。

2. 植物に対する大気汚染の影響

植物に害を与えられると思われる一酸化炭素、NO、NO₂ で代表されられると思われる窒素酸化物、および亜硫酸ガス(SO₂) および硫酸ミストについて私見を述べてみたい。

まず一酸化炭素については、人間、動物および魚においては、血液が鉄を中心としたヘモグロビンが主成分であり、一酸化炭素は顕著に中毒現象を呈することは論をまたないであろう。

これに対して植物の葉緑素は鉄の代りにマグネシウムが中心体であり、その反応性からみて、人間、動物に対する程有害であるとは考えられない。ただ葉上においては一酸化炭素は炭酸ガスに変化することはないとされている。しかしこれが本当に事実であるかの疑問が専門外である筆者の心の中に残されている。



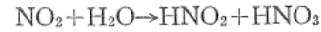
の反応は工業的には Fe₂O₃ に酸化クロム、マグネシアを加えた触媒を用い 500°C 付近で行われるが、一酸化炭素の防毒マスクの充填剤としては Hopcalite で代表される Mn, Cu, Ce の酸化物の混合物が賞用され、常温酸化の形式がとられることはここに述べるまでもない。

これらの金属酸化物、または一般金属イオンを積極的に葉面散布すれば、ある程度の一酸化炭素の酸化がおこるのではないかと想像をたくましくしている筆者である。

普通葉面散布は尿素、燐酸カリまたはアンモニウムあるいは塩化または硫酸マグネシウムが用いられるが、Fe, Mn, Cu, Zn, などの金属を EDTA の形で葉面散布することもあり、いわゆる微量金属の葉面散布剤が市販されているのである。

つぎにガソリンまたは石油の燃焼によって必ず生成する炭酸ガスは植物の生長を促進するわけで、温室栽培のときに、適当量の炭酸ガスを導入することがよく行われている。

窒素酸化物については NO, NO₂ で代表されるわけであるが、NO→NO₂ の反応は湿気の下で容易に進行する結果、



の反応によって生成する亜硝酸と硝酸とが公害の主成分となるであろう。

硝酸塩として水耕栽培に賞用されているのは硝酸カリ、硝酸カルシウムであり、よって硝酸が雨に洗われて土中に入れば、むしろ有効な肥料として寄与するであろう。それでは亜硝酸塩はどうであろうか。農学関係の人々の意見によれば亜硝酸塩は植物に有害だとされているが、堆肥中に亜硝酸塩が存在することから、これについての今後の研究を必要とするであろう。たとえ亜硝酸塩が有害だとしても、硝酸塩と混合されたときの有害性については疑問であると考えられる。

つぎに亜硫酸ガスについて述べてみよう。前述のように、硫酸ミストとなれば、大気中のそれは大いに有害だと断定せざるを得ないが、土中に入れば硫酸塩 (K, Ca, Mg) となるわけで、硫酸カリはカリ肥料として活用され、また硫酸マグネシウムはクロロヒルのマグネシウム不足を補うため葉面散布される。

いづれにしても硫酸ミスト、亜硝酸、硝酸は遊離の状態では有害であり、よって雨が少ないときには、スプレーの形で葉を定期的に洗滌する必要がおこってくるであろう。

参考のため、つぎの第3表にバラの根、茎、葉および花の灰分の分析値を示す

第3表 バラの根、茎、葉および花の灰分分析値

成分	根	茎	葉	花
カリウム	13.45	14.25	33.13	47.41
ナトリウム	4.20	2.57	1.47	2.44
石灰	40.88	51.50	31.29	13.25
マグネシア	7.15	7.62	9.23	5.94
鉄	2.86	4.23	2.49	0.97
燐	29.14	10.62	11.68	28.46
イオウ	1.95	2.22	4.31	3.17
珪酸	0.21	4.35	5.71	1.52
塩素	0.21	2.78	0.89	0.57

これは、バラの分析値の一例に過ぎず、肥料が異なれば分析値もある程度変化することは間違いないが、上表からバラの肥料としてつぎの

ものが適当であるとの提案がなされている。

硝酸カリ	10 wt.
硫酸カルシウム	8 "
過磷酸石灰	12 "
硫酸マグネシウム	2 "
硫酸第一鉄	1 "

しかしバラの肥料としては、上記のものは油粕に比べて遜色があるようで、その原因は何物であるかについては、余り明らかでない。土壤の物理的変化の相違、たとえば油粕を用いたときは土壤が雨が降っても固まり難く、土中への空気の入出が容易であるともいわれている。亜硝酸、または油粕の腐敗によって生成する有機酸によっても考えられるであろう。

なお、イオウは植物の生長に対しては不可欠のものと考えられ、元素状イオウは「ウドンコ」病の妙薬として用いられている。

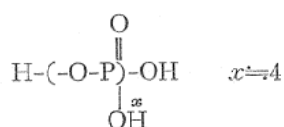
3. 前向き Green Science を

われわれ人間の栄養剤としてはビタミン、アミノ酸を中心として数多くのものが用いられているが、植物に対して未だ研究が進んでいないようである。

最近微量要素の名の下に、種々の葉面散布剤が市販されていることは、この方面の進歩の「ハシリ」ともいう可きものであろう。

磷酸肥料としては従来過磷酸石灰が主として用いられていたが、施肥したものの80%内外は土中のアルミニウム、鉄などと反応して不溶性となり、いわゆる最も能率の悪い肥料として有名である。水肥中の磷酸カリウム、磷酸アンモニウム (NH_4 , H_2PO_4 , KH_2PO_4) も同様であろう。

ところで磷酸肥料としてポリ磷酸が登場してきた。これの製法は、たとえば五酸化磷 (P_2O_5) 306 g と 85% 正磷酸 (H_3PO_4) 95 ml とを水浴上で 2 hr 加熱することで、その組成は

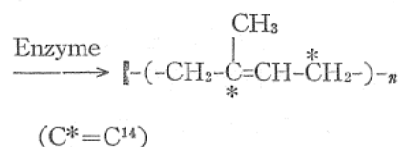
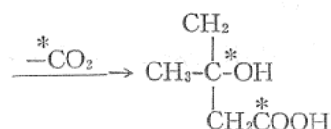
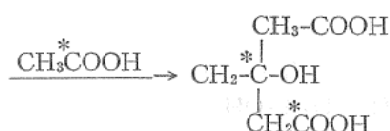
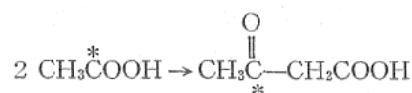


これは鉄、アルミニウムとの反応性が少なく、良好な磷酸肥料として使用できる由で、そ

の COST-DOWN とともに従来の肥料に代る公算が大きい。

さて筆者は 1960 年に *Angew. Chemie* (12, No. 22, 820, 1960) に F. Lynen および U. Henning によって発表された「天然ゴムへの生科学的道」という論文に極めて大きい興味をもっている。

これは天然ゴムの主成分であるポリイソプレンは印度ゴムの木が酢酸を栄養剤 (Precursor) として生成すると結論している。すなわち、 C^{14} でラベルした酢酸 ($\text{CH}_3\text{C}^{14}\text{OOH}$) を印度ゴムの木に注射すると



すなわち、 C^{12} と C^{14} とが交互に配列されたポリイソプレンが生成する。

筆者はこの考え方が正しいとすれば酢酸の塩類、たとえば酢酸カルシウム、マグネシウムは植物の栄養剤として役立つものと考え、バラに試用した結果、かなりの良結果を得たが、その後ソ聯を訪問する機会を得たところ、同様なアイディアが既に小麦の栽培に活用され、良結果を得ていることを確め得た。

すなわち、ソ聯では油脂資源の不足から、固体のパラフィンの酸化による長鎖脂肪酸の製造を年 30 万 t の規模で行っており、このとき副成する約 3 万 t の低級脂肪酸の $\text{C}_1 \sim \text{C}_5$ 利用に困り、これをアンモニウム塩の形で小麦に施肥していることが判った。

なお、筆者のアイディアは既に日本において

生産と技術

も試験されつつあることを付記しておきたい。

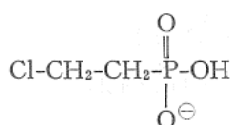
つぎに印度ゴムの木の成長促進にエチレンが使用されつつあることを述べてみたい。

これは Chemical Age, July 31, 1970 に発表されたもので、分解して容易にエチレンを放出する Ethrel を葉上に散布することである。

元来エチレンは植物の生長に対しては有害とされており、たとえば重油燃焼の温室内では重油の不完全燃焼により生成するエチレンがある濃度以上になると植物の成長を妨げるということである。

その後エチレンは果実の熟成ホルモンとして活用され初めたが、ガス状で用いることは極めて不便であるので、水溶性の Ethrel の形で、スプレー形式をとることになった。

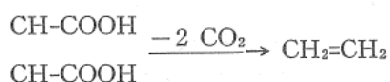
Ethrel は



微酸性になると容易に分解してエチレンを放出する。

さらに果実に熟成に伴って微量のエチレンが発生することも確められてきた。

これは糖類の生化学的酸化によって最後にフマル酸となり、これが炭酸ガスを放出してエチレンとなる。



よって果実の熟成によってエチレンを生成し、これがさらに果実の熟成を促進すると思われる。

エチレンは、ここに述べるまでもなく、石油化学工業の主原料であり、日本における生産高は近年 400 万 t に達せんとしており、ポリエチレン、ポリ塩化ビニルの生産にその大部分が消費されつつあるが、上述のように、たとえば印度ゴムの生長促進にも用いられるわけである。

エチレンから誘導されるエチレングリコール、グロピレングリコールは空気感染を防止する殺菌剤として活用され、また酸化エチレン、

酸化プロピレンはガス殺菌剤として実用化されていることも興味あることである。

このように石油化学工業と Green Science とが Approach し始めたことは、今後の研究の進展に伴って数多くの石油化学製品が植物の成長促進剤として活用し得る公算が極めて大きいことを示すものであろう。

プラスチック汚染、産業廃棄物の中心であるプラスチック・石油化学工業から多量に生産されつつあるポリエチレン、ポリ塩化ビニル、ポリエステル、ペークライト、さらにエラストックスの代表である合成ゴムなどの廃棄物の処理の如何は、今後のプラスチック、エラストックスの進展を左右する大きな因子と考えられる。

砂漠計画、これは砂漠の地下 1 m 位のところにアスファルトを敷き、地下からの食塩の吹上げを防止し、緑地帯の形成に成功しつつあるが、プラスチックの廃棄物もこの方面への活用の道が見出されることも決して不可能でないと考えられる。

南洋一高温地帯の植物の根は横張りの状態にあり、よってプラスチックの波板を用い、根を強制的に横張りさせ、植物の成長促進を図ることも、極めて興味ある Green Science の領域となるであろう。

むすび

以上緑化産業の開発を迅速に達成せしめることが焦眉の念であることを前提として、Green Science についての私見を述べてみた。地球上における酸素不足に対する対策は早急に確立すべきであると考え。年間約 60 億 t の酸素が地球上から消失しつつある由であるが、これは長年月の間に蓄積されていた酸素が段々と食潰しされつつあるといっても過言ではあるまい。

公害はある程度さげられないとも考えられる今日、酸素供給源である植物を公害からいかにして護るかの積極策が切に要望される次第である。