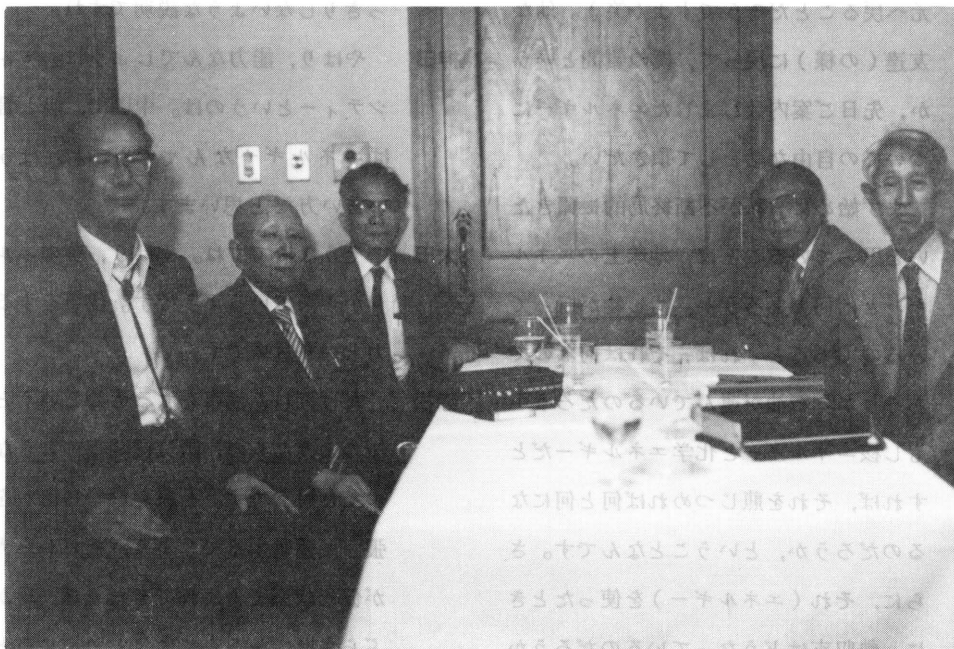


5. 座 談 会

— エネルギー科学サミット座談会 —



右から、高橋、押田、島村、赤松、太田の諸氏
(於 新宿駅ビルプチモンド 昭和58年8月2日)

物質循環の原理からエネルギーを考える

1983年8月2日

出席者

(司会) 東大名誉教授・H.E.S.S前会長

東大名誉教授(物理学)

東大名誉教授(化学)

上智大名誉教授・前日本太陽エネルギー学会会長

横浜国大教授・H.E.S.S会長

赤松 秀雄

高橋 秀俊

島村 修

押田 勇雄

太田 時男

—エネルギーの概念とは—

赤松 今日は一つ童心，幼な心に帰って頂きたい。皆さんは，たぶん還暦をお越しになった（と思いますが），還暦というのは元へ戻ることだそうですよ（笑）。幼な友達（の様）に戻って，僕の質問というか，先日ご案内致しましたエネルギーについての自由な話をして頂きたい。

まず始めに，私が不断終局的に聞きたいと思っていることは，地球上のエネルギーとは何であろうか。もし物が担っているのであれば，それは何なのであろうか。石油が運んでいるのだろうか。もし核エネルギーと化学エネルギーだとすれば，それを煎じつめれば何と何になるのだろうか，ということなんです。さらに，それ（エネルギー）を使ったときに，熱収支はどうなっているのだろうか（この二点は）私が座談会で最低限聞きたいことなので，あらかじめお願い申し上げます。

それでは，そもそもエネルギーとは何ぞや，というところから始めます。エネルギーとは何であるかということで，僕は字引をひっぱってみました。（つけ加えますが）普通の素人の人だと思って考えて下さいね。

島村 広辞苑ひいたの？ やはり…（笑）

赤松 「仕事に換算できる諸量の総称」とあるんですよ。今度は，オックスフォードの辞書をひいてみますと，“The Capacity for doing work and overcoming resistance”と書いて

あるんです。それで（この説明中には）主格が無いんだね。何の capacity なのか。あるいは諸量とか（の言葉がはっきりしない）。判ったか判ってないかはっきりしないような説明ですね。

押田 やはり，能力なんでしょうね。キャパシティーというのは。中国で，能と言えばエネルギーなんですね。あれはうまい言い方だ、と思います。

太田 そうなんです。やはり，昔のエルゴンから来ているようです。仕事をする能力という意味です。

赤松 けどどね，仕事をするものという機械のようなもの，蒸気機関車のようなものだと思うです。石炭を燃やし何かを引張って運動するでしょう。それから人間が仮死状態で生まれてきたとき，足からぶらさげてふるんですよ。そうすると動き出すんですね。これらの間に何か共通するものがあるように思うんです。



赤松 秀雄氏

高橋 仕事というのは，やはり物理でちゃんと定義された術語としての仕事ですね。

赤松 それら、皆んなに共通のものがあって……。

押田 だから広辞苑はあっているんじゃないでしょうか（笑）。つまり、換算した単位で測られるのですから。

高橋 やはり、本質は不生不滅だということだと思いますね。要するに世の中には、不生不滅なものがいくつかある。その中で最も重要なものの1つでしょうね。形は変わるけれども量としては変わらないのだと。

赤松 そうすると、一つの抽象的な概念でしょうかね。

押田 僕はね、高橋先生が何と言われるか知らないけれども、もし目に見えないという意味なら、抽象的だと思うのです。目に見えないものが（必ずしも）抽象的でない定義するなら、非常に具体的なものだと思うのです。

高橋 お金を抽象的と言うなら、（エネルギーも）抽象的なものでしょう。しかし、お金くらい具象的なものは無い（笑）。

赤松 あとで経済論をやりましょう。

押田 今や、まさに銀行の通帳に数字があるだけの抽象になりましたからね（笑）。

赤松 ところで、他の色々な物理量と比べて（エネルギーは）やはり違うところがある。たとえば、ケミストリーの立場から言えば、これは燃料なんです。別の言い方をしますと、物理学でエネルギーという概念が出て来たのはそんなに古いことではないでしょう。ニュートンの力学のときには、エネルギーはないと思うの

です。化学では、どこから（エネルギーの概念が）出て来たかという、ヘスの定理からだと思うのです。化学反応熱はその反応を分解したとき、各々の反応の反応熱の総和と一致するというものです。

島村 そうすると、結局ヘスの法則で述べていることは、エネルギー不滅の法則ということですね…。

赤松 （その段階では）エネルギーとまではいかないのです。減るものではないという事の方が先なんです。1840年ぐらいのことなのです。それは、物を燃やすということから、化学では、熱量ということと必ず反応熱ということになる。

島村 しかし、ラオアジエの時代までは、熱は物質だと思っていた。ですから、エネルギーというものは、非常に密接に物にくっついていたものであるという風に我々は言っている訳です。

赤松 化学はずうっとその考えなんです。しかし「換算しうる量」と言いますが、地球上のエネルギーとは一体何かということが、最終的に私の聞きたいところなのですが。

高橋 結局、エネルギーという概念が生じたのは、永久機関を作ろうという努力がうまくいかないということからではないですかね。やっぱり、何かを使わなければ仕事というものは出来ないんだということ（ですね）。そして、その使うものというのが、エネルギーということなんです（なったのです）。ただではないよということなんです（笑）。



高橋 秀俊氏

赤松 ただではないということは、仕事をす
るには、何か元手がいるということでは
しょう。その元手は、一体何だということ
になるんですがね。一体どんな元手があ
るのかということなんです。

高橋 それは色々化学物質もあるし、太陽か
らの放射もあるし、色々ある訳ですね。

赤松 その辺をゆっくりお聞きしたい。

高橋 今でも、何かちょっと頭のおかしい人
で、何か変な仕掛けを考えて、(これで
エネルギー危機を乗り越えればいい)な
んていう人がいる。我々から見れば、そ
んな馬鹿なことと言うけれど、昔から色
々な人が考えていたのも無理は無いの
ではないかと思えますね。

— 仕事率の概念 —

赤松 僕たちは、パワーの事を仕事率とい
いますね。でも、仕事をするのは蒸気機関
車じゃないかと(思えるのですね)。そ
して、同じ元手をかけてもパワーは違う

訳だ。

高橋 そのパワーという言葉はね、仕事率と
いう訳がまずいのではないかと思います
ね。

押田 まずいですね。

高橋 僕は、昔、動力と訳していた方がまだ
良いのではないですか。要するに、パワ
ーというのは、仕事率と訳すと、今何かが
仕事をしていて、これを横から見て、あ
あ今これだけ仕事をしてらあという感じ
になるが、本当はそうではなくて、これ
だけ仕事をする力がある、能力がある
というのがパワーではないかと思うん
ですよ。それでようやくパワーという言葉
がおかしくないという事に気付いたん
ですよ。どうして仕事を時間で微分してパ
ワーかと思ったんですが、要するに、機関
車でも強いやつはパワーが大きいとい
うことじゃないかな。

押田 英語のパワーの使い方は、動力なん
ですよ。power production と言うと
動力発生なんで、決して仕事率発生では
ない。

高橋 能なんですよ。先ほどの。

太田 なるほど能なんですね。

高橋 機関車は、これだけの仕事をする力
があると(する)。そのとき出て来る仕事
はエネルギーな訳ですね。だけどその
仕事はいくらがんばっても、仕事率以上
には得られない訳ですね。

赤松 そのエネルギーはどこからでてきたの。

高橋 それは、まあ石炭ということになる訳
ですけど(笑)、機関車のパワーという

場合には、ただ石炭をやたらにたけばエネルギーが出るという訳ではない。

赤松 そうすると、仕事に換算する諸量というものが、好きなように決められることになる気がするんですね。

太田 そうです。

押田 高橋先生の話のを伺っていて思ったんですが、パワーこそ能なのであって、エネルギーが沢山あっても、それを仕事にかえる量が少ないものは、「能なし」なんですよ(笑)。

赤松 そうすると、“capacity for doing work”は、相手と結びつくものと両方の共同作業でないと出てこないような気がする。

高橋 “capacity for doing work”はむしろパワーの説明の方が(ふさわしいのではないか)。

押田 そうですね。

赤松 僕もそう思う。ことに“overcoming resistance”というのだから。

押田 たとえば、高橋先生の尻馬に乗って言いますとね、今、エネルギーの需要量が増えて人間の生活が変わったというけれども、実際に変わったのはパワーであって、エネルギーの方は結果、勘定してみるとこれだけ使っておったということなんです。

高橋 金持もパワーを持っている。

押田 あれを蔵にしまっておいたら、パワーはない訳です。金持ちと言えども。

島村 ポテンシャルをもっていることになりませんか。

高橋 ポテンシャルとパワーは語源が一緒ですからね。

赤松 そうするとね。やっぱり、エネルギーを使う機構と組み合わせなければ、パワーというものは決まらない。

押田 それはそうです。今、色々な機械が出来たのは、人間の生活が変わったのであって、それが出来たからパワーも大きくなったので、その間は、密接に関係している訳です。

— エクセルギーとは —

赤松 そうすると、エネルギーは、何と言ったらいいのですか。

高松 仕事をするとき消費されるものがエネルギー。

赤松 消費されるものがエネルギーで、消費される何か素がある訳ですね。それは何だろう。そりゃあ、私も勉強しましたよ。「物理」の特集号もね。高橋さんのエクセルギーの解説もあったけれど。あれは化学ではavailable energyとかavailable workはでてくるのですよ。ギブスの自由エネルギーは、等温・等圧が条件だから、外界と同じ温度、圧力ならば、available energyと同じになる。しかし、そういう条件がなければ実用的にはエクセルギーですね。

高橋 温度が非常に高いものがあれば、常温にあるもののギブスの自由エネルギーより、余分にもっている訳だから、(エクセルギーの)値は大きくなる。しかし、大ざっぱに言えば、化学物質のエクセル

ギーは大きいから、温度はそれほど問題にならない。

ただ、液化天然ガスなんかで、冷たいということを利用しないのはもったいない。燃料に使う為に、わざわざ海の水で暖めてしまう等というのは……。

太田 そりゃもう……。

押田 エクセルギーを捨てている訳ですね。

高橋 そういう意味では温度も大切ですが。

赤松 そういう話が出たからついでに、今度はエネルギーの利用の話で、熱を仕事に換えるには、カルノーサイクルの限界がありますね。電気は全て仕事になるので

高橋 なります。

— 光エネルギー —

赤松 光はどうです。

太田 光は難しい。

赤松 光のエネルギーはどの位利用できるかと考えたとき、こういう考えは許されるでしょうか。太陽光が来る。波長が決まっている。エネルギーが決まる。そのエネルギーは太陽から来た。太陽を黒体と考える。そのときの温度はどの位だろうと考える。その温度でみると、エントロピー的なものが考えられる。すると、効率というものがある。ここでカルノー・サイクルにあてはめてみるのです。

高橋 そうです。ほとんどのエネルギーが使えることになる訳ですね。

赤松 それでよろしい？

高橋・太田 原理的にはそうですが……。

押田 ちょっと、今の話を踏みはずしますと
だいたい太陽光は電磁波な訳でしょう。
ところが、太陽からラジオ波の強いものがきていけば、これは、先ほどのように
100%仕事に変えられる訳ですよ。ところが、非常に波長が短かくて、今おっしゃったランダムなものが入ってくる訳
ですから、今おっしゃったエントロピー
タームがある訳で、それで熱に似て来る
訳ですね。しかし、熱と同じかと言われると、光には圧力もあるし、フォトンの
流れという方が実際に近いのではないで
すか。



右から、高橋、押田、島村の諸氏

— フォトンの化学ポテンシャル —

赤松 そうしますと、フォトンの流れとしま
すと、電気化学の方で電子のケ
ミカルポテンシャルと言いますが、大雑
把に考えると、フォトンのケミカルポ
テンシャルというのは、定義できるかな。

高橋 どうなのかな……。

押田 高橋先生の「エネルギー変換一般論」
というのがございまして、電磁波のよう

なクラシカルエネルギーは、あの手この手を使いまして、100%変換できる。その他に量子的変換というのがございまして、そこへ行くと話が変わってくる。その境目はどの辺かというところが大変おもしろいところです。

赤松 おもしろいですね。よさそうですね、フォトンのケミカルポテンシャルという考えは。

高橋 その問題は、前からひっかかっていた問題なんですよ。フォトンには確かにエネルギーを運ぶ。同時にエントロピーも運んでいる…。半導体なり、光電効果なりの現象を考えると、半導体の側でも、例の電極・ケミカルポテンシャルというのがある訳ね。それと、ちよつど対応していると考えてもいいのじゃ…。

押田 これは、昔太田先生がやっておられたことに近いですが、半導体と電解質の界面をやっている人は、どうしても両方に共通な言葉になってくる。ケミカルポテンシャルというものは。

赤松 この頃のように、光触媒をやっている人、本多さんのような人はね、使いたくなるんですね。

押田 私は、良いことだと思う。

赤松 フォトンのケミカルポテンシャルという用語を使ったのは、George Porter。

太田 私も拝見しました。フォトンだけが空間を飛んでいる時のケミカルポテンシャルというのは考えにくいですね。

押田 考えにくいですね。ところが僕のように

な商売をやっていると考えざるを得ない……。

高橋 だけど、物質の中に入ったら、当然考えられる。

太田 そりゃあそうです。

押田 中ならば、熱力学が扱う系になる。飛んでいるやつは、熱力学では扱わない。

太田 そうなんですよ。あれは非平衡になる。物質に入ってしまった場合は、当然それは考えられると思いますけど……。

赤松 大雑把なコンセプトとして、大体の計算をしてみると、効率はやはり高くなりますね。

押田 高くなります。

高橋 それから比べると現在得られている(機関等の)効率は低いですね。

飛んでいる時でも、中に一杯あるものの一部分が外に出たと考えれば、厳密では無いけれども、使ってよいのではないのでしょうか。

太田 大体は解りますね。

高橋 太陽から来る光は、原理的には、地球上で太陽と同じ温度をつくる事が出来るはずですよ。ということは、飛んで来ても、ちよつともエネルギーを失ってない訳です。

— 量子的エネルギー変換 —

赤松 そうするとね、普通の光化学反応でのエネルギーの扱いですよ、先程の量子的変換……量子的変換とは何？マクロでは無いという意味？

高橋 要するに、マクロな熱力学では扱いに

くいものです。熱力学の対象にならない訳ではないんだけど、普通の物理屋の感覚では、あまり熱力学的には考えない場合ですね。

押田 ここに教祖がおられるから、伺いたいのですが、量子の変換には、第2法則みたいなものがあるのではないのでしょうかね。例えば、小さなフォトンが集まって大きなフォトンになるようなことは、まあ、ないでしょう。

赤松 ちょっと待って下さい。量子の変換というのが何を指しているのか、はっきりさせて下さい。

高橋 例えば、光電効果、光化学反応等、フォトンが関与するものですね。

赤松 それは、これから大いに必要になってくるんですね。そのとき、どういう事です？ フォトンで、「仕事に換算しうる諸量」として何か言うことが出来るのですか。

太田 先生が先程おっしゃった $nh\nu$ で、 n が中途半端なものはエントロピー以外へは変換しないという簡単な意味なんです。

高橋 例えば、熱電素子等で、エネルギーを変換する場合等で、電圧は、連続的に変化する量であって、その電圧によって、変換されるエネルギー量が変わったりする。それに対して、量子の変換では（フォトンの）エネルギーは全て電子に与えられて、電子が励起する訳です。それが、実際役に立つ仕事になるのは、もちろん100%ではないけれども。基本的な現象としては、ほとんどエネルギーが電子

に移る。

赤松 数が沢山ならば、良いけれども、数が少ない時には、どうなるか解らないということですか。

高橋 いや、普通、フォトンのエネルギーが電子に移る。しかしそうでないものもある訳です。

島村 そうでないものを例で言うて頂く方が僕には解り易い。

太田 例えば、熱電対みたいなものですね。光をあてて、熱にかえて……。

高橋 その場合、はっきりとエネルギーが何かに移るといえることは言えない訳ですね。

まあ、単に分類しただけで、それ以上深い意味はない訳ですけど。

赤松 光化学等をやり出すと、絶対必要になってくると思うのですけれど。

太田 光化学とか、太陽電池とか……。

赤松 光合成もそうですね。

— 光 電 極 法 —

押田 いやあ、あれは卓見ですよ。それで本多先生、藤島さんら、光化学者がおられるが、1つだけ絶対に落ちない事があるのでですけど。藤島さんとも本多先生ともお会いしますと、quantum yield だと、quantum yield を良くしたいとおっしゃる。quantum yield とは、1フォトンのエネルギーがまるまる使えるならば、1ですね。ところが実際の光合成は、8~10のフォトンを使って1つの反応を起こす。quantum 比から言えば、非常に悪い。しかし、エネルギー

比から言えば、40%くらいある。

だから、こんなことを言うと大変失礼ですけども、フォトンを集めて1つの反応を起こすということは、あまり念頭がないみたいですね。



赤松秀雄，島村 修（向って右）の各氏

島村 それはやはり、化学で色々な変化を考えるとき、要するに分子なんです。我々が反応をやるときに考えている事は。集合体が色々な反応をしているけれども、メタンならメタン1分子しか考えないために、1つのフォトンしか考えないことになってしまうのではないですか。

押田 そりゃ分子を考えることはいいことですよ。しかし、天然の photosynthesis というのは、フォトンを集めておいて一度に反応させるのがミソなのであり、本質であるから、今述べているのですよ。

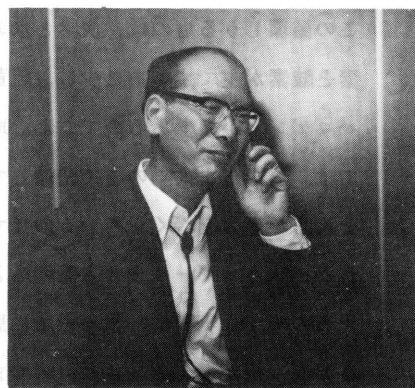
赤松 太陽からとれば、元手は要らないのだから、僕はあまり yield は気にしないのですよ。

—化石燃料は何故適切に燃えるか—

太田 押田先生のコメントに関連して、いつも私が非常に不思議に思っていることがあるのですが、石油でも石炭でも天然ガスでも木材でもそうですけれど、酸素の中で、非常に適当な燃焼速度で、適当な（温度の）熱を出して燃える訳ですね。そういうことと、それらが光合成を元として、太陽から造られたということと関係があるのでしょうか。化学の方に伺ってみたいと思うのですが。

赤松 僕は大変関係があると思っているのです。

太田 太陽をもとに作られない物質というのは、燃焼が全く出来なかったり、あるいは、非常に高い熱を出したりして使いにくいのです。これは不思議でしょうがないのですが。押田先生の言われた幾つかのフォトンを集めて反応させるということと関係があるように思うのですが。大体、僕は石油が非常に適当に燃えるという事が不思議でしょうがないのですけれど。



太田時男氏

島村 適当というのはどういうこと？

太田 我々の生活にとって、という意味です。

島村 やはり、化学物質の分子が酸素と化合してこわれ、二酸化炭素を生じたりするときの結合エネルギーが、それらの物質の間で、ほぼ一定になっているからではありませんか。

太田 結合エネルギーだけから言いますと、他にもそういう物質はあると思いますけれど、次々と結合が解かれていって爆発もしない、消火もしない……。

島村 爆発の問題はまた別でしょうけれど。しかし、鉄の場合、かなり温度を上げなければ燃えはしないが、常温でもさびるということはある…。燃焼温度の範囲がどれだけであるか（も1つ問題です）。

赤松 僕は、太陽と非常につながりがあると思いますよ。（太陽の存在で）、循環しているものとそうでないものがある。循環しているものは、有機化合物です。太陽のエネルギーをもらって、photosynthesisで出来て、燃えて炭酸ガスにもどって循環している訳です。この循環するものは、炭素と水素と窒素と酸素が主です。あと少し、硫黄とかハロゲンとか多少あるのですよ。地球上では、たまたま太陽の下で循環していてそれらが生体をつくっているのです。それが、エネルギーの大きさ等のもとだと思うのです。実際に一番不思議に思われるのは、炭が燃えるときに、いつまでも赤く燃えていることです。あの酸化は、僕の実際データから言って、炭素の表面

に酸化層が出来る（ことを特色とする）。温度が上がるとその結合が切れる。CO、CO₂ になって切れる。そこで炭素が裸になるとまた酸化層が出来る。そして温度が上がると再びC結合が切れる。何故温度が上がると再びC結合が切れる。何故温度が上がると言うのと、やはり酸化反応だからでしょう。C-C結合は、強いですが、C-O結合が出来ると切れる。切れるときは吸熱反応。酸化層が出来るときは発熱反応でしょう。発熱反応と吸熱反応がうまく繰り返されている。自分でうまく制御されている。日本の炭火なんてのはうまく出来ています。

固体の炭に限らず、液体（化石燃料）でも、炎が赤い。カーボンブラックがたくさんできているのです。炭の表面と同じように、発熱反応と吸熱反応のバランスがうまく行なわれ、順々にうまく燃えているのだと思います。



赤松 秀雄氏

有機化合物だけそういう傾向がある。あとで、地球の熱収支のこともお聞きしますが、有機物は熱収支が循環してゼロ

であるに対して、無機物は熱収支がゼロにならない。有機物と無機物は根本的に違う。太陽の下で地球が育てた有機物であると思うのです。エネルギーの担い手として太陽エネルギーを比較して頂きたいのですけれど。

有機物を爆発反応で燃やすと、すすが出る。あのすすは、カーボンブラックです。どうしてあんなに早くできるか不思議ですね。

島村 考え方によっては、不思議ですね。

赤松 水素を燃やしても、すすなんか出ないですからね（笑）。

島村 油やろうそくが燃えるときに炎の中で熱分解して C_2 、 C_3 などができ、それらが結びついてすすになると考えられますね。

赤松 ペンゼンを燃したとき、ベンゼン環が壊れるか否か。僕は壊れないと思う。

島村 そうはいかない。一酸化炭素も二酸化炭素も出来るのだから。

赤松 それは後で出来るのでしょうか。トルエン等は、燃やすと真黒い煙が出る。メタン等を出にくい。ところで、物の燃焼とはなんのでしょうか。

— 燃えるとはどんなことか —

島村 温度が上がって酸素と結合すること。光と熱がでます。常温でも炭素化合物分子が O_2 をとりこむ自動酸化という現象があります。

赤松 燃えるというのはどういうこと？

島村 火事などのときには、熱分解して気体になる。気体は炎を出して燃えます。

赤松 火事の場合で、不燃性というのは気体が出ないようにすることだ。その為にリン酸系統の触媒を使う。気体の場合でも酸化は起こるが、炭の場合、気体状態になって始めて酸化が起こるのではなく、aromatic-condensation で炭からcarbonが生じて、そのcarbonに酸素がついたり、結合が切れたりして燃える。そういう場合の「燃える」ということを言っているのです。

具合良く燃えるものを探すと、やっぱり有機物なんですね。



赤松秀雄，島村 修（向って右）の各氏

島村 そう。有機物は大体そうでしょうね。爆薬に使うニトログリセリンも燃えますね、しかしはげしく…。

赤松 そう。有機物は大体そうでしょうね。薬に使うニトログリセリンも燃えますね、しかしはげしく……。

太田 線香花火ですね。

赤松 有機化合物を燃すと熱が出ますね。出来るときは、太陽の光を用いる。無機物はそうはいかない。有機物の熱収支は安心して使えるが、そうでないものは安心

して使えない。

島村 そうでないものを具体的に言うと？

赤松 例えばHC1。

僕は熱収支のことをどうしても伺いたい。エネルギーによって仕事をすると全て熱になっていきますね。その熱はどこへ行くのだろう。

— 熱の収支 —

押田 やはり、最後には宇宙空間へ放射されるのではないのでしょうかね。

赤松 うーん。やはりね。そこへ行く前に地球を暖めますか。

押田 一時ね。ローカルには。

赤松 核融合などで、太陽から来ないエネルギーを使ったときはどうなるのです？

押田 最終的には、宇宙空間へ放射されるのでしょうかね。

地球の温度が、若干あがって熱容量が増えることにより、放射されるのでしょうかね。結局のところ。

赤松 太陽から来たエネルギーが仕事をして結局宇宙に放出される以外のエネルギーがありますか。

押田・太田 あるでしょうかね。

赤松 その部分は何が担っているエネルギーなのでしょうか。

押田 エネルギーの分類からですか。

赤松 そうです。

高橋 今まで、石炭・石油を燃やして発生した熱はどの位貯っているのですか。全部貯っているのかどうか。ステファン=ボルツマンの法則に従えば、温度があがれば、

それだけ放出するが。

太田 ステファン=ボルツマンの法則で、10 K～20 K上がったとしても、放射はほとんど変わりませんが、地球の温度が10 Kあがるというのは大変なことです。ですから赤松先生がおっしゃるように、そういう熱は地球内に放射されずに溜っていると近似的に考えてよいのではないのでしょうかね。

赤松 石炭・石油は過去の太陽エネルギーが蓄積されているとしますね。その溜っている分を、今、全部開放したら、太陽系内における地球の定常状態に影響する訳でしょうね。

高橋 先程の T^4 則だけでいく程簡単ではないでしょうかね。

押田 (T^4 則は)最後の最後の話でしてね太田先生のおっしゃるように一時溜ることもあるでしょうが、地球表面だけの流れというものもありまして、地球全体では1℃しか上がらなくても、ローカルには15℃も20℃も上がるというケースもある。

— もろもろのエネルギー —

赤松 エネルギーの種類には、化学エネルギー・核エネルギーとがある。化学エネルギーというのは、殻外の電子のやりとりの反応です。核エネルギーは、原子核の中の反応ですね。化学エネルギーのやりとりだけですと、物質は循環します。ただし、熱だけは放出されてきますが。核エネルギーの方はそうはいかない。元へ

もどらない。

高橋 核エネルギーを元へ戻すというのは考えにくいですね。

押田 宇宙をやり直すしかないでしょうね。

赤松 だから、核エネルギーというのは宇宙が出来たときのエネルギー。石炭や石油は、2億年位前の植物に蓄えられたエネルギー。薪というのは、数十年前に蓄えられたエネルギー。その他に地熱エネルギーはどうですか。

押田 地殻の中の放射性物質によるものだから、核エネルギーでしょうか。

高橋 使うか使わないかにはよらない。

赤松 他にないでしょうか、使用すると熱収支に影響する様なものは。

押田 潮の干満のエネルギーがありますね。

赤松 地球上の太陽から来ているエネルギーについては、定常状態と考えてよろしいですか。

押田 まあ、良いでしょうね。しかし、人間が木を切りすぎたりすると、地球全体としての光合成能力が劣える訳です。そうすると、赤松先生のおっしゃる循環能力が半身不随になってくる訳ですね。

赤松 それが全地球的な問題になる green crisis です。

押田 今実際に地球上のCO₂が相当な勢いで増えていますからね。

高橋 高等な植物の方が光合成の能率が良いのでしょうか。

島村 海にいる微生物、例えばプランクトンなどの中には光合成の能力がかなり高いものがあるそうですね。

押田 非常に光合成が速いものがあるらしいですね。

高橋 よく潮が富栄養化したといいますが、栄養がふえれば、良いと思いますが。

押田 結局、酸素が足りなくなって生物の共倒れになってしまうんですね。

— エネルギーと経済 —

赤松 次に経済とは何ぞや、というテーマに入ります。字引きを引くと簡単に出ているんです。“A system of producing, distributing and consuming wealth”と出ているのです。wealthというのは売ったり、買ったり出来る普通のmaterial thingsというのです。F.Soddyはavailable energyは富と同意語だというのです。それが彼の熱心な主張でH・G・Wellsと論争したり、ケインズなんかとも論争しています。そして、金本位制をやめてエネルギー本位制にすべきだと述べている。その為にnumbering indexを使う等と述べているけれども私はそのところはよくわからない。彼は経済学者には相手にされなかったけれども、今や何となくそういう時代が来た様な気がする。一つ有名な話をしますと昭和電工の創始者森さんという人が、昭和電工をつくるときに銀行から融資を受けたいけれども担保がないので、阿賀野川を担保に金を借してくれませんかと言ったというのです。これがエネルギーと経済を語る時の有名な話だと思います。これは、社長に確かめてみ

ました。現在は、石油・石油というけれども、実際はエネルギーという価値で世界を支配している。それで、エネルギーとは何ぞやという問題を、経済的な観点からみてみたかったのです。ただし、Soddy の時代とは違うのは、彼がエネルギーを *income* ととらえていたように人間がエネルギーをコントロールできるようになると信じていた点ですね。核を使うと人間がエネルギーをコントロールできる。それによって理想社会が実現できると思っていた。



高橋 秀俊氏

高橋 当時そう考えたというのはすごい。ところが現実にはそれに近づいてみると色々問題が……。

赤松 Soddy は、1956年に死んでいますが、(晩年は)物理学者の責任とかについて語っていたそうです。

高橋 石油危機の頃は、確かにエネルギー一本位制という感じがしましたが。

押田 まあ、今でもそうなんではないですか。石油の値段で、世の中の景気・不景気が

左右される。

—人工石油の値段—

太田 私、島村先生にお聞きしたいと思ってきましたことがあるのですが、もちろん石油は合成出来るのでしょうか。

島村 炭化水素は合成出来ますよ。

太田 C-Hの多い重たいものも合成できる訳ですね。ナフサのようなものを合成すると、どの位の値段になるのですか。

島村 よく知らないのです。原料を何にするかという問題ですね。フィシャートロブシー合成というのがございますが、あれはCOと水素から作りますが。

太田 例えば、水と空気中の炭酸ガスとから作るとなるとべらぼうに高い値段になる訳ですか。

島村 そういうことでしょうか。炭酸ガスを還元するのが大変と思います。炭素の酸化数が4になっていますから。空気中の炭酸ガスが増えているので少し減らしたらどうかということだとすれば、あのままの形で、何か使える様な物質に変えていくのが安上がりであると思います。

COと水素から出来るのは、昔からメタノールなんですね。ですから、メタノールから出発して色々変えて行こうという試みが沢山あります。例のゼオライトの特別なものを使って、メタノールから水をとって、 CH_4O から H_2O をとれば CH_2 が残りますから、これをつないでガソリンを作るという話があります。

赤松 メタノールの原料は何なのですか。

島村 今のところ、天然ガスなどのメタンです。

太田 私は、石油等有機的な化学材料というものは、理想的なエネルギーのキャリアーであると思っていますのです。メタノール、エタノール、水素等色々ありますが American Chemical Society の chemical abstract で調べて、有機化合物が、六百何十万種類あるそうですね。その97%がCを持っているというのですが。その中で、今使っているエネルギーの carrier よりも、もっとよい carrier があるのでしょうか。

島村 そう都合のいいものは無いのではないのでしょうか。

太田 C-Hの化合物の中で、bestなものとは理論的にも制限されているのでしょうか。

島村 やはり、あまり分子の大きいものは重油や石炭の方へ近づいていきますからね。ケロシン・灯油・ガソリンといったところが使い易いようです。

高橋 そういう都合のいいものが、地下に眠っているというのは不思議ですね。

島村 石油は溜っていますが、ガソリンのようなものは少ない。ですから作っているのですけれど。

太田 私は、もっと良いエネルギーのキャリアーがあるのかと思っていたのですけれど。

島村 例えばヒドラジン (H_2H_4) のようなものもありますけれども。

赤松 ここでまた無邪気なことを申しますが、炭素がエネルギーのキャリアー

ではなくて水素だと思ふ。

—水素と炭素—

太田 そうです。水素はただくっついているだけだと思います。

赤松 炭素というのは骨格を作る。窒素は特別な機能をつける。水素はエネルギーを運ぶ。固体物理の電子の様なものなのです。発熱量を1モルでいくらという様に言いますが、酸素の消費量で比べてみましょう。酸素1モル消費するときに、どれだけ熱が出るかということで比べますと、やはり水素は発熱量が多い。

生体内の高エネルギー材料ATP等においても、酸化・還元反応で、循環している。ここでもエネルギーを運んでいるのは水素ではないか。



赤松秀雄，島村 修（向って右）の各氏

島村 エネルギーを運ぶのはプロトンではないですよ。しかし、エネルギーの受渡しをしていることは間違いない。

赤松　そこで太田さんの質問は、炭素でなく窒素ではいけないかということですね。アンモニアのように。ただ、アンモニアは燃えないね。

島村　触媒を使えば燃えます。白金を使って温める。するとNO₂が発生する。

赤松　2～3年前、化学会百年記念学会があったのです。寒いときであったが、白金カイロを渡したところ皆んな感激してね。こんな素晴らしい発明が日本にあるのかと。話をもどしますが、地球上全人類的に考えると、絶対にエネルギーが不足しているのではないか。

太田　それは「パワー」（時間微分量）が不足しているのであってエネルギー全体量が不足しているのではない。

赤松　有効に使える道具立てがあれば間に合いますか。

押田　有効に使うということは大事ですけども、例えば中国が今の日本のようにエネルギーを使う様になったら、やはり足りないという現象が出てくるのではないですか。

— エネルギーの消費形態を憂う —

赤松　ご承知の様に世界中で、一人あたり平均消費量は2 KWですね。文明国で4 KW、発展途上国では0.9 KWとか1 KW以下です。10億の民がちょっと増やせばエネルギーバランスは大きく崩れる。だから、僕は中国の人に近代化とおっしゃるけれど別の意味の文明を作ってもらはなければいけないと思っているんです。

今のアメリカの真似をしてはいけない。

Soddyさんではないが、エネルギー経済論から言えば、エネルギーの分配の仕方を変えなければいけないと思う。

僕の提案を言うと、エネルギーは薪・石炭・石油とききましたが、薪を使っているところには石炭を、石炭を使っているところには石油を使わせて、文明国は水素を使う。水素を使うのは技術が大変ですからね。

それから、押田さんなんかには言わせると、電気を熱に変えるのはとんでもない法律作って禁止すべきであるというのですが、化学の実験室では電気で熱を得ている。電気で熱するときも無駄なく上手に熱すればいいではないかと思うのです。実験室でもガス・バーナーを使わないで電気のマントル・ヒーターを使っているでしょう。

家庭でも電磁調理器を使っている。

高橋　何千度という温度を作るのなら別ですが、常温近くで熱を作ると、その瞬間に価値を失っている。それがエクセルギーなのです。

赤松　加熱の仕方を上手にしたらいいませんか。

高橋　ある程度はよくなるけれども、依然として失われるものがある。

太田　どうしても電気を使用したいのならばヒートポンプの様なものを使えばよい。

押田　私は、要するに電気が安いのだと思うのです。

赤松　電気の値段を上げてしまえばいいので

すか。

押田 そうすれば、状態は改善されるでしょう。しかし、それが良いか否かは別問題です。研究室のようなところでは構わないでしょうが、世間一般の暖房に電気ストーブを使うのは止めた方がよいと言っている訳です。

赤松 今度どのようにエネルギーを使ったらよいか、エネルギー選択の指導について入ります。

島村 普通のアパートなんかで、調理にガスが使えないところがありますね。

押田 あれは、プロパンが爆発したとき困るからなのです。下からの圧力が弱い。建築科の先生に聞くと、電気を使うべきであって、あそこでガスを使うのは間違いだと言います。経済性の問題だけではないところもありますね。

赤松 社会生活の様式が変わったのですよ。昔風呂を焚くにしても松の枯木でやったものですが、今はガスを使わなければどうしようもないようになってしまっている。生活様式がもとへ戻れないようになっている。日常生活を電化の方向へ向かわせることはどうですか。

— 電気機器について —

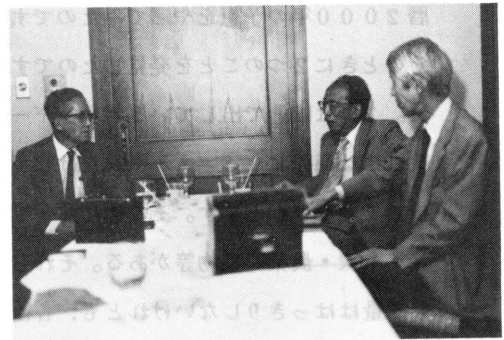
押田 要するに今は電気時代になり過ぎたのですよ。戦後、日本に九つの電力会社を作って、国策として何でも電気を使え、ガス会社を倒してまで電気を使うという方向をとった。そうして現在の様になった。これは行き過ぎですね。

赤松 電気を使えというのは家庭的な意味？

押田 もちろん工場には安い電気を供給し、家庭においても電化を推進したのです。

赤松 いいじゃないですか。いけない？

押田 ですから、エネルギー経済上は良くない訳ですね。例えば、家庭の中に色々な電気機器が入ってきていますが、熱を発生している訳です。この頃は、断熱性が良くなっているから、熱は中へ溜まる訳です。それでクーラーをつける。クーラーは熱を発生する。これは全部電気メーカーが儲かる訳です。熱は全部外へ捨てますから、外は焦熱地獄になる。そうするとますます大きなクーラーが要る。これは後で水素の話が出る伏線なんです（笑）。



右から、高橋、押田、島村の諸氏

島村 電化生活を推進した当初は、現在のようになることを読んでいたのでしょうか。

太田 読んでないと思います。政治判断ですね。景気刺激。

押田 三種の神器という言葉がありまして、それが売れてしまうと、今度は何を売ろうかということになる訳です。

— エネルギーと途上国 —

赤松 ついでに全人類的な立場から言えば、僕は **developing countries** に対して文明国で使って余ったものを買わせるような政策はよくないと思うね。向こうにマッチしたものを送り出すべきだね。

押田 ただ、先生ね。 **developing countries** にも魂というものがある。日本みたいになりたいと言うかも知れない。現にシンガポール等はそうになっている訳です。これをどうしますか。

赤松 そうすると地球は破滅しますな。全体的にエネルギーが足りないという問題は解決のしようがない。

押田 現在の状態は、まだそれ程足りなくなっているとは思いません。私は最近西暦 2000 年の予想をやってみたのです。そのときに 2 つのことを発見したのですね。1 つは国連で出しているエネルギー統計には商売になるエネルギーだけしか扱っていないことです。その他に薪・牛糞・木炭・農業廃棄物等がある。それらの総量ははっきりしないけれども、各種文献から推定すると 1800 年からずうっと増え続けているのです。石炭の産額が増えて、これらの総量を追い越したけれども増え続けた。更に石油が石炭を追い越したけれども、石炭が減った訳ではない。石炭もやはり増え続けている。エネルギーの多様化は今に始まったことではなくて、既に多様化してきたのだと思います。もう 1 つ解ったことは、予想になりま

すが、エネルギー全体の使用量は 2000 年まで増え続けますが、人間 1 人あたりの使用量は減るのです。この減るといふ現象は、有史以来始めてのことになる。これは一種の不足でしょうね。

— 研究産業論 —

押田 今や研究産業 — 研究が 1 つの産業になってきた。研究で大勢の人が食っている。だから原子力船なんか簡単に廃船に出来ないのですよ。

赤松 それは昔言っていた花見酒の経済みたいなものなんだな。経済は富を生みださない。

高橋 とにかくコンピュータの進歩は大変なものだ。こんなに進歩する必要はないのではないかと思う。けれども研究している人がいるということは……。

押田 昔は研究では食えなかった。日本で食えたのは理化学研究所だけで、あれは例外でしたでしょう。今や研究者というのは給料がもらえるようになった。

赤松 研究者という職業ほどおかしなものはないと思っているのです。若い人がよく研究者になりたいと申しますな。

押田 僕は、そういうことを止めて歩いているのです。

太田 研究産業という概念はおもしろいですね。

赤松 コンピュータという産業もそう？

高橋 そうでしょうね。僕なんかその恩恵にあずかっているんですが。

赤松 子供なんかはコンピュータゲームをや

っているでしょう？あれも産業になればいいですね。

核融合もそうなんです。

押田 あれは、研究産業としてしか理解出来ないものなんです。例えば、今やっているのはトリチウムですが、トリチウムは天然にはないでしょう。水素なんて誰もやっていない。

赤松 トリチウムを作るのは大変ですね。

太田 それは大変です。

— 物質の担うエネルギー， 情報とエネルギーなど —

赤松 さて、地球上のエネルギーは何だと言ったとき物質が担っているのだと言っている訳ですね。あとは、太陽からの radiation。物質には、地球が出来て以来のものと、自然を通して循環しているものとの二種類がある。自然界で循環しているものは有機物。これは地球が太陽系から生まれて来てその中で育ったものです。これは使ってもよろしい。それ以上に太陽からもってきたものでは困るという訳ですね。それでよろしいか。

押田 大旨結構です。

高橋 自然界に存在しないものを色々つくりそれを捨てるということは大変なことですね。

赤松 化学は今まで物を合成したり、分析したりということだったけれども、物質の循環を研究しなさいということをお願いなのです。

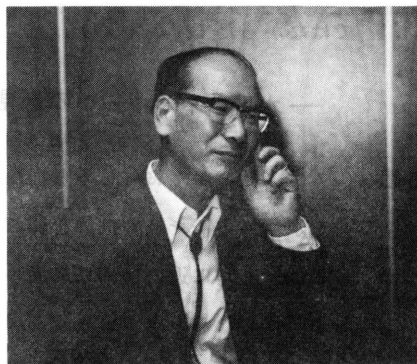
高橋 アルミニウムを買うのはエネルギーを

買っているようなものだといいますが、捨てられている金属アルミニウムからは少なくともエネルギーだけは回収するべきですね。

太田 高橋先生がみえるので1つお聞きしたいのですが、コンピュータが発達して世の中の情報化が進むと、先程のパワーは増えますか。

高橋 増えるでしょうね。それは、つまりコンピュータであるからということではなく、人間の活動がそれだけ活発になるからでしょう。

太田 あるいは、最適の行動をとるようになって減るでしょうか。



太田時男氏

高橋 うーむ。それは物理の問題ではないのではありませんか。社会の問題ではないですか。

太田 南洋の美しい島をテレビで見て、それでは行ってみようという人と、テレビで見たからもういいやという人といるかも知れませんが。一概には言えませんね。

押田 やはり社会問題でしょうね。

赤松 人間の活動能力が増えればエネルギー消費が増える。だから自然に戻れという

ことになる訳ですな。

高橋 確かにコンピュータのある量の仕事を果すために必要なエネルギー量はどんどん減って来ていますね。それを凌ぐだけ台数が増えるかどうか。

押田 私はコンピュータが解らないだけに批判的なんですよ。学生に金が余ったから何買うかと言ったら、コンピュータ買ってくれという。この間見てみたら麻雀ゲームをやっている。これも多少練習になるかと思って多目に見ていますけれども。

赤松 そうすると人間の富とは何かという問題になってきますね。

押田 最後は水素エネルギーでしめくくるのではなかったですか(笑)。

— 水素エネルギーへの意見 —

赤松 では、せっかくおっしゃられたのだから、水素エネルギーの批評を聞こう。

押田 私は、非常に近い将来に水素エネルギーの時代になるとは思いません。先程、有機物がエネルギーのキャリアーであるとおっしゃったけれども、私は物のキャリアーであると思う。人間だって有機物がなければできないし、プラスチックもそう。Cがあるとバリエーションが拡がるのです。Cはどこから来るかという1つは天然資源、もう1つは植物ですね。植物は空気中に0.03%しかないCO₂をあれだけ集めて大木になる訳です。それを燃やして飛ばすというのは愚の骨頂。

赤松 Cは骨格をつくる。

押田 Hは水蒸気から回収できる。

赤松 水素はエネルギーのキャリアー。有機化学者は有機化合物を表現するのにCで骨格を書きます。何だか解らないところはHとおいていく。

水素製造で、thermo-chemical process というのがあります。僕は金属を使うやつはダメだと思う。使えるのは炭素と水素ですけれど、その他に使えるのは、硫黄とかせいぜいブロムですね。他のもの使うものはダメです。

太田 おっしゃる通りです。

赤松 そうでしょう。

太田 リン酸は使えますか。

赤松 本当はうまくないと思う。水を壊すことは、窒素固定と匹敵することだと思う。

今日は、人前では言えないような質問をいたしました。おかげでよく眠れるようになりました。(終、文責 太田)