

# だから、エントロピー

●座談会

●司会

小出昭一郎 東京大学

玉野井芳郎 沖縄国際大学

槌田敦 理化学研究所

鶴見和子 上智大学

廣松渉 東京大学



●エントロピーへの思い入れ

●エントロピーと価値

●エコロジーとどうつながるのか

●アナロジーはどこまでゆるさされるか

●「物質」のとらえ方

●不純な物理学を!

●実践との結びつき

●みんなのわかる言葉で語ろう



## エントロピーへの思い入れ

●環境問題からエネルギー危機へ、そして……

小出 このたび、エントロピー学会をつくることになったわけですが、それぞれの先生方にエントロピーというものに対していろいろお考えがあり、かなり深い思い入れがあつて、共通の場でいろいろ議論したいというお考えだつたと思います。そのエントロピーへの思い入れと、学会をつくることになったり、参加されることになった経緯について、それぞれの先生方からお話いただきたいと思ひます。最初に玉野井さんか

らお願いします。

玉野井 私の印象で言いますと、一九六〇年代の後半から環境問題の危機が始まりまして、今までの考え方に大きい反省を加える時期がありました。それに続いて、一九七〇年代の前半にエネルギーの危機が始まりまして、それを見通すかのように受け取られた例のローマ・クラブの『成長の限界』<sup>(2)</sup>が一九七二年に出ました。そして、環境問題からもう一つ進んだところで危機が深まってきたわけですが、この両方の危機は、

(1) 一九六八年、ローマに西欧の知識人・政・財界人が集まり結成した研究・提言機関。先日亡くなったイタリア・オリベッティ社副社長ベッチェイ博士らが世話人で、食糧危機、人口爆発、公害など未来にかかわるテーマを中心課題としている。

一九七二年の報告書『成長の限界』は、マサチューセッツ工科大学D・メドゥズ助教授の手になるもので、一躍世界的な注目を浴びた。日本にも、ローマ・クラブ日本委員会がある。

(2) D・H・メドゥズ他著  
大来佐武郎監訳、ダイヤモンド社  
一九七二年。



こいで・しょういちろう  
1927年生まれ。東京大学卒業。物理学。

それまでになかった新たな理論的反省を私たちに強いるほどの重大な社会問題、経済問題だったと思います。それを通して初めて、この二つの危機に共通なものとしてアントロピーの危機というような問題が出てきた。これまでにあった人類社会が共有していたアントロピー的豊饒——エントロピック・アバンドランスというジョージ・エスクレーゲン<sup>3)</sup>の言葉がありますが——がようやく終わりを告げるような問題が出てきたわけです。こうして、従来のエネルギー一本の生産性概念に対して、改めてエントロピーをキー・ワードとして対置させる必要を多くの人が認めるようになってきたのではないかという気がします。

私自身もエコロジーの問題からエントロピーの問題にだんだん首を突っ込んでいくようになりました。その過程で物理学畑の皆さんとも親しくなってきました。素人ながら私なりにこの問題を考えているうちに「物理研究者の見たエネルギー問題」というシンポジウムが

始まり、私もこれに最初から参加しました。それが四回くらいありまして、昨年に入って、いよいよ議論が熟した結果、このたびエントロピー学会が誕生したのだと思います。

新しい学問の胎動を受けて問題が始まっていますので、名称は学会ですが、学会についての思い入れが人によって違うのではないかと思います。討論を尽くし、学問的な考え方をさらに深めるといふ本来の学問の広場といったものが、あるべきエントロピー学会の姿ではないかと思つています。私も今度の学会創設をたいへん喜んでいる者の一人ですが、そういうわれわれの気持ち若い世代の人達にも伝わっていつて、今日の世界的規模、地球規模の危機をどうやって乗り越えていくかというときに、どうしてもエントロピー学会が提起する問題を避けて通ることができないというようなものになってほしいと思います。

榎田 玉野井さんが言われたように一九六〇年代の環境問題、七〇年代のエネルギー危機から始まるわけですが、エネルギー危機ということが物理研究者の中にもずいぶん浸透してきました。このエネルギー危機をなんとかして解決すべきであるということ、核融合<sup>5)</sup>の研究開発が盛んになったのもちょうどその頃になります。

ところが、核融合の研究開発には、核融合は人類究極のエネルギーであると書かれていた。今では一般的に常識になっていることですが、それはおかしいのではないかと言いだめたのが一九七五年です。核融合の

(3) Nicholas Georgescu-  
Roegen, 1906—。ルーマニア生まれの数理経済学者。もともと専攻は統計学だったが、一九三二年ハーバード大学に留学した折、シユンペーターの影響で経済学へ転向。人間の利用するエネルギーと物質は、人類の生存とはかかわりなく、しかも人間が消費すればするほど加速度的に劣化する」として、経済過程のエントロピー的性格を重視する。

著作は多数あるが、とくにエントロピーとのかかわりでは、「The Entropy Law and the Economic Process」があまりにも有名。翻訳書としては「経済学の神話」(東洋経済新報社)がある。

(4) 第四回シンポジウム(一九八二年一月)報告集、理化学研究所がある。詳しくは、本誌の室田「なぜ、いまエントロピー学会なのか」(四六頁)を参照。

(5) 軽い原子核間の反応で、大きなエネルギーが発生するものをいう。太陽など恒星の中で起こっているのは、四つの水素原子核から一つのヘリウム原子核が生成される水素融合反応やヘリウム原子核が三つ集まって炭素原子核が一つ生成されるヘリウム融合反応である。地球上で考えられているものはそれらとは少しちがった。水素、ヘリウム、リチウムなどの核組みかえ反応であり、水爆やいわゆる核融合エネルギーを得る目的に使われる。

研究が仮に成功したとしても、おそらくそれは駄目である。そして、いろいろ理由を挙げたわけです。核融合の資源はヘリウムであったり、リチウムであって、そういう鉱物資源の問題もありますが、それだけでなく、仮にそういうものがあつたとしても核融合は人類究極のエネルギーであるというような楽観論でやるべきではない。

ところが、そういう反論をすると、それに対して批判が出てきました。その批判というのは、反対ばかりして提案がないではないかということです。そこで、それでは資源とは何かを私も考えてみようという問題に入ってしまったわけです。物理学者ならばエネルギーという問題を考えるときにはエントロピーを考えなければならぬことはすぐにわかることですが、それではエントロピーがどんな役割を果たしているかということについては、それまであまりちゃんと議論されていませんでした。エントロピーが何か重要な役割を果たすのではないかということは昔から言われていましたし、シュレディンガー<sup>(6)</sup>が一九四四年に『生命とは何か』を書いたときからそういうことはわかっていたが、議論にはなっていないかった。

そこで、そのときに、私としては代案の気持ちもあつて、更新性資源ということで、水こそ資源であるということの説明するのに地球を水循環を挙げて、地球がどうやってエントロピーを処分しているかということ議論したのがいちばん最初です。

その後、地球のエントロピーの処分の問題に関連し

て、光合成を含めて生物の循環を議論して、更新性資源の基本的なところについては明らかにしたつもりでした。ところが、その当時は、そういう種類のものについての関心を皆さんに持っていただけませんでした。ほぼ八年ぐらい経つと世の中はエントロピー・ブームになってきましたが、私としては、このエントロピー・ブームは残念です。なぜならば、エントロピーというのは極めて神通力があるような主張があるからです。エントロピーを理解すれば、エントロピーさえどうにかすれば、未来が開けるようなことが書いてある。それはあまりにもおかしいのではないか。

また、今度は逆の側から、エントロピーなどと言っているけれど、あれはまやかしである。あんなものは何の役にも立たないというような意見が出てきて、その両極端がいま空中戦をやっている状況です。

しかし、そういうことはどうもおかしいのではないか。エントロピーの持つ本質のようなところ、つまりエントロピーをどこまで適用できるのかとか、どこまでエントロピーという言葉で物事を語っていいのとかに、その後関心を持って、今ここに来ているということになります。

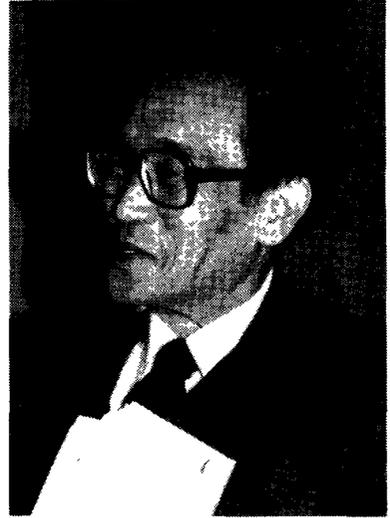
小出 われわれはエントロピー・ブームに乗って学会をつくったということでは決してないと思いますが、今の榎田さんのお話は自然科学者の立場として、むしろエントロピーの使い方の方に慎重であれということでしょうか。

榎田 はい、そうです。

(9) Erwin Schrödinger, 1887-1961. ウィーン生まれのオーストリアの理論物理学者。一九二六年、彼が波動力学と名づけた分野の論文を発表。これは、W・K・ハイゼンベルグの行列力学(一九二五年)と数学的に同等であることがのちに証明され、量子力学の体系が形成されていった。  
一九三三年には、P・A・M・ディラックとともにノーベル物理学賞を受けている。「生命とは何か」のような生物学関係の研究もある。



(7) 岡小夫・鎮目恭夫訳、岩波新書、一九五一年。



たまのい・よしろう  
1918年生まれ。東北大学卒業。経済学。

●学際的研究の場

小出 廣松さんはどういふきつかけで参加されたのですか。

廣松 学会に入れていただいた楽屋話から申しますと、ある方から、今度、学際的なエントロピー学会をつくりたいのだけど、哲学サイドから入ってくれそうな人がいないので名前を貸せと言われて、義理にかられて発起人に名前を連ねたというのが正直なところです。しかし、多少理屈をつけますと、玉野井先生や槌田さん、あるいは室田さんや河宮さんという私なりにお仕事に注目していた方々がおつくりになる学際的な研究会ということでしたので、勉強の機会を得たいと思ったのが動機だと申せましょうか。

玉野井先生はエコノミーからエコロジ<sup>(8)</sup>ーへという方向で意欲的なお仕事を進めておられますし、槌田さんのお仕事は、単に資源物理学という専門的な領域ということであれば、失礼ながらそれほど関心はありません

んが、これがいろいろな発展性、経済学的な場面、ひいては社会科学という枠を超えて、展開力のある命題だと思っていましたので、じかにいろいろ教えていただきたいと切望しておりました。室田さんの場合はジョージエスレーゲンあたりの仕事を批判的に踏みながら展開しておられることに関心を持ったわけです。

また、河宮さんの仕事というのは、スケールが大きくて、収穫通減の法則<sup>(9)</sup>に関連した議論にしても、単なる経済の話ではなく世界の動態分析のようなことに引つかかってくるような射程を持つている。その上に、河宮さんは、エコロジ<sup>(8)</sup>ーの問題にまで話がつながるようなところまでやっておられる。彼は化石エネルギーの問題だけではなく鉄の問題も含めて議論している。こういう方々の学際的な研究の場に臨むことができれば大いに勉強になるだろうという下心があつて入っていた次第です。

もう一つあえて言うと、エントロピーという概念そのものにややうさんくささを私は感じているんです。何もかもエントロピーということに拡張されている風潮のうさんくささということがもちろん一方でありますが、エネルギーという概念についても似たようなことが言えると思うのですが、エントロピーの概念もつじつま合わせや帳尻合わせのようなところがあつて、もともと問題が出された現場では十分な根拠があり、それなりの適用力があつたのでしようけれども、社会現象の場面にまで広げるといふ不当拡張以前に、物理

(8) ecology: 通常、生態学と訳される。初めてこの言葉を提唱したのは、一八六九年、ドイツの生物学者E・ヘッケルとされている。(本誌、室田「なぜ、いまエントロピー学会なのか」四八頁参照) ある地域の動植物群、これを支配する気象、土壌、地形などの総体を生態系と呼ぶが、この生態系の構造、変動などを研究する。環境破壊の進行とともに大きな注目を集めている。公害を告発し、その地域の生態系を守ろうとする動きをエコロジ<sup>(8)</sup>ー運動、その実践者たちをエコロジストと呼ぶこともある。

(9) 正しくは「生産要素(規模)に関する収穫通減の法則」という。労働や原材料などの生産要素を、たとえば一〇%余分に投入したとき、生産量がそれ以上に入える場合を収穫増、生産量が一〇%ふえるときを収穫不変、一〇%以下の場合を収穫通減と呼ぶ。企業や農場などで、技術条件が一定ならば、規模をどんどん拡大しても、それに見合つて生産量が増加しないことが経験的に知られており、古くから経済学のテーマとされてきた。

的な枠の中でもやや辺縁がはつきりしないというか、何かうさんくささを感じさせる。しかし、エネルギーとかエントロピーという言葉で表現され議論されていることの中に、存在論的に見て転換を要するというよりも、ものの方の転換期に特有な何かがあるような気がする。そこで、自然科学関係の方々と個人的におつき合いの機会を得て、わからないところを自分なりに整理してみたいということもあって、入れていただいたという事情もあります。そういう意味で、ほかの先生方とは入会の姿勢がそもそも違うかもしれない。

### ●近代化論とのかかわり

鶴見 私が入っていたいたのはまったく個人的な理由からです。玉野井さんのお誘いを受けて入れていただいたのですが、玉野井さんには私たちが国連大学の研究プロジェクトをやっているときに特にご協力いただきました。そのプロジェクトというのは「内発的発展と新国際経済秩序」という大上段を掲げたプロジェクトでしたが、そのときに玉野井さんが、いい人をご紹介するとおっしゃって、槌田さんと室田さんを率いていらつしゃった。

今日は三人で報告をするとおっしゃって、玉野井さんは短く前座をなさって、槌田さんと室田さんがたいへんおもしろいお話をしてくださったわけです。槌田さんが「資源物理学入門<sup>10)</sup>」という本を書かれましたが、ちょうどその話をしてくださった。それがたいへんお

もしろいと思ったのが病の始まりでした。これからの仕事にきつと役に立つだろう。世のために役に立たせるのではなくて、きつと自分のために役に立つに違いないと思って、勉強させていただくという意味で入れていただきました。

エントロピーという言葉が私たちの仕事にいくらか関係があるのではないかと気がついたのは、バリー・コモナー<sup>11)</sup>の「クロージング・サークル」という本を読んでいるときで、熱力学第二法則<sup>12)</sup>つまりエントロピーの増大の法則が使われています。ところが、それがわからない。

あのころバリー・コモナーがアメリカでも日本でも注目されて、とても惹かれたものですから、学部ゼミのテキストの一冊にこれを選びました。エントロピーの意味を物理学の先生にうかがったのですが、その説明を聞いてバリー・コモナーの本を読むとますますわからなくなってしまう。物理学の先生が言っていることとバリー・コモナーが言っているエントロピーという概念がどこかで違っているのか、私がつまづきまくらなければならないのか、わかりませんが……。それがエントロピーという言葉との出会いでした。それはもういづいぶん前の話です。

もう一つ、なぜこういうことに関心を持つようになったかという点、近代化論の問題です。近代化論は、近代化が進めば進むほど物質生活は向上する。そして、人間が幸福になる。近代化の進まない社会と近代化の進んだ社会が出会うと、近代化の進まない社会の人々

(10) NHKブックス四三三、日本放送出版協会、一九八二年。

(11) Barry Commoner, 1917「アメリカの生態学者。ハーバード大学で学位をとり、その後ワシントン大学教授となる。科学者の果たすべき社会的責任という問題に深くかわりながら、環境保全の重要性を主張し、市民の原発反対運動などに参加している。著者として、「エネルギー」(時事通信社)、「なにが環境の危機を招いたか」(講談社ブルーバックス)、「エネルギー大論争」(ダイヤモンド社)などがある。

(12) 巨視的な現象が一般に不可逆であることをいう法則。いろいろな述べ方があるが、それらはみな同等である。クラウジウスの原理、トムソンの原理は、安孫子「報告6」九四頁を参照。カラテオドリーの原理「熱的に一様な系の任意の熱平衡状態の任意の近傍に、その状態から断熱変化によつては到達できない他の状態が必ず存在する」あるいは、第二種永久機関不可能の原理としてもいえる。

エントロピーの概念を使えば、「孤立系のエントロピーは、不可逆過程でつねに増大する」(エントロピー増大の法則)と表現される。



つちだ・あつし  
1933年生まれ。東京都立大学卒業。物理学。

は近代化の進んだ社会の人々をうらやましがって、そのようになろうと思う。だから、地球的な規模で近代化が進むのである。そういう前提に発したこの理論は、一九五〇年代を風靡したわけです。

ところが、六〇年代に入って環境問題が出てきて、近代化はいいことばかりではないことがわかりました。それから、近代化論の再検討をやって、その続き

として水俣の調査に入った。七年かかって、昨年やっ  
と第一次調査が終わったところですよ。公害問題、環境  
問題が人間の外の自然を破壊するだけでなく、人間の  
内なる自然を破壊していくことを社会学としてどうと  
らえればいいのかがとてもわからなくなりました。考え  
てみると、社会学そのものが人間を自然としてとらえ  
るということを忘れていたのではないかと。

私は、まだエコロジーからエントロピーについてい  
ません。まだエコロジーの段階で低迷していて、エコ  
ロジー的な考え方をどうやって社会学の中に入れてい  
くことができるかを考えています。環境問題を社会学  
的にとらえるために「エコロジー」にまず興味を持っ  
て、その延長としてエコロジーの本を読んでいると「エ  
ントロピー」に出会った。しかし、意味がよくわから  
ない。植田さんのお話をうかがって非常におもしろい  
と思つて、それからいろいろなアナロジーを考えまし  
たので、後でまた話をさせていたいただきたいと思いま

## エントロピーと価値

### ●生命系を含んだ広義の経済学の必要性

小出 やはりの専門によってかなりニュアンスが違  
うように思いますが、共通してどういうところにエン  
トロピーという言葉の持つ魅力があるのでしょうか。

玉野井さんも書いていらつしやいますが、時間の向  
きということが初めて物理学の中に本質的に入ってき

たのがエントロピーという概念と一緒だったというこ  
とがあるわけです。時間の向きに伴つてエントロピー  
は増し、エネルギーは低級化することはあつても逆は  
おこらない。一方で、ものは使えば低級化して価値が  
落ちるだけであるということがあつて、それが経済学  
のほうでは今まであまり考えられていなかった。しか



クラウジウス



トムソン

し、これからはそういうことがきわめて重要になってくる、というようなお話であったかと思えます。

このように価値とエントロピーを結びつけるということが一つの契機になって、経済学の方や社会学の方がエントロピーに興味をお持ちになったと思います。そこで、価値とエントロピーを結びつけるというように、などから話を始めてはどうかと思います。玉野井さん、いかがですか。

**玉野井** 私自身の考え方の推移をお話しながら答えるほうが答えやすいと思いますので、先ほどの話の続きになりますが、私はその前の六〇年代の半ば頃から情報の問題に私なりに関心を持っていました。

今日、情報化の時代が実際に現れてきています。コンピュータやマイクロエレクトロニクスなどが出てくる理論的な端緒は、おそらくウィーナー<sup>(13)</sup>のサイバネティックスの問題提起のあたりからだろうと思います。が、社会科学の側からの情報化の探索はすでに六〇年代を通して行なわれていました。私も経済のほうから、今までの物質概念に変わるような実体的な情報というものの意味をさぐってみて、今までの物質一辺倒のハードなシステムではなくソフトなシステムとして、経済のあり方を変えてゆけるのではないかというようなことを私なりに考えた時代がありました。

ところが、六〇年代末の環境問題以来、これではどうという問題は片付かないという、私にとって大きな反省の時期が始まりました。というのは、簡単にいうと廃棄物といいますが、アウトプットの中に何とか処理

しないとシステム自身が成り立たないようなものがある。つまり、今までの経済学が取り上げていた製品や半製品という名のアウトプットを仮に正のアウトプットとすると、それにはつねに負のアウトプットとでもいうものが伴う、しかもその負のアウトプットが初めて正のアウトプットが成り立つのではないだろうか、ということを考えるに至って愕然とし、新たな反省を加えなければならぬと強く感じた時代がありました。

こうして、生きていくものたちがお互いに関連しあつて一つのシステムをつくっている生態系と経済の固い系を混同してはいけない。この場合、情報というようなものがどこまで生態系を説明しつくせるものなのかというようなことを考えるようになりました。こうしていつのまにか、エントロピーというキー・コンセプトの適用という厄介な問題にぶつかっていました。

たとえば皆さんもご存じのボールディング<sup>(14)</sup>をはじめとして、エントロピーという言葉を使った何人かの社会学者がいます。そのときの社会科学のほうの使い方は、いきなり無秩序の尺度を表わすものとしてエントロピーという概念を漠然と使っている。したがって、たとえば経済の仕組みでも何らかの合理的な組織化が可能となれば、エントロピーからくる混乱を免れることができるというような説をなしています。そして、なるほど、そうかなと思つた時代があつたわけですが、それが今の環境問題の前に感じていたところです。

(13) Norbert Wiener, 1894—1964. アメリカの数学者。知的早熟児で、一八歳でハーバード大学の博士号を得た。数学以外にも電気通信工学、神経生理学など多方面の業績がある。

第二次大戦中の高射砲の自動照準などの研究とおして、機械と動物における制御と通信の問題を扱う新しい体系の必要性を唱え、その理論にサイバネティックス (Cybernetics) という名を与えた。

著書として、「人間機械論」(みず書房)、「サイバネティクス」(岩波書店)、「神童から俗人へ」(みず書房) などがある。



(14) Kenneth E. Boulding, 1910—イギリス・リヴァプール生まれの経済学者。オックスフォード大学卒。その後、アメリカに帰化。現在、アメリカの経済学者でこれほどの異彩をはなつ人はいない。彼の経済学上のスタンスはおそろしく広いので概説は不可能に近い(価格理論、企業論、社会組織論、グリーン・スタンプ、出生許可証)の発行で有名な人口論、そして情報の経済学、贈与の経済

