

# 身近な水からサバイバル飲み水を得る試み～市販の中空糸膜ろ過器を応用して

柴早苗、高橋朝子、人見達雄  
(NPO 法人 雨水市民の会)

## はじめに

大災害に備えて家族分の飲み水として一人当たり1日3ℓで7日分の備えをするよう、自治体からの情報として伝えられている。4人家族なら100ℓ近いが、その必要量を備蓄しておくには、広い空間が必要になる。そこで視点を変えて、いざというときに身近な水で飲み水が手に入らないだろうか。川や池の水は泥や災害時には有害物質の混入など不測の問題があり、採用できない。

雨水市民の会では、足元に降る雨に注目し、雨水は天然の蒸留水であり災害時の生活用水になること、煮沸すれば飲み水になることを発信してきた。しかし、災害時にガスや電気が使えなくなれば沸かすことはできない。また身近な水といえば、もとの水が水道水の風呂の残り水（飲むことに抵抗感があるかもしれない）があげられる。

今回、災害時の飲み水を確保する目的で加熱以外の手段として、雨水タンクの水及び風呂の残り水について中空糸膜でろ過する実証実験をした。中空糸膜は細菌の大きさ以上のものは取り除くことができ、圧力をかけず自然流下でろ過することができる市販の中空糸膜カートリッジを用いた。以下に報告する。

## 1 ろ過システムの概要

### 1) 中空糸膜カートリッジろ過装置

以下の市販のポット型浄水器のカートリッジ（活性炭と中空糸膜で精密ろ過するタイプ）を、圧力をかけず、自然流下で良質かつ多量の水がろ過できないかと考えた。しかし、ポット型浄水器そのまま使用すると、水頭が7cm程度であるため、ろ過速度が遅く効率が悪い。そこで自家製の浄水器を作成した。手提げ付きポリエチレン袋（レジ袋）に接続して、ゴムロール等のパッキンを用い、それらの資材が水に触れないように工夫して、水漏れしないようにしっかり取り付け付けた。それを折りたたみ式小テーブル（幅48cm×奥行40cm×高さ70cm程度）の一边にバネクランプで固定することで、水頭は25cm前後を確保できた。（写真1参照）



写真1 中空糸膜ろ過装置でろ過中

#### 自作装置用資材

- クリンスイポット型浄水器 CP012 用のカートリッジ CPC5W（2個入）\*1（三菱ケミカル・クリンスイ株式会社製、活性炭と中空糸膜による）
- ステンレスホースバンド
- ゴムロール 0.5mm厚
- レジ袋 高密度ポリエチレン半透明 厚さ0.018mm（幅32cm×高さ58cm マチ付き手提げタイプで、中央に耳がある、7ℓ程度蓄水可）
- バネクランプ 110 2個 等

\*1 この実験は、災害時を想定してこの製品の機能を応用しているもので、メーカーの製造者責任

の範疇外の使い方をしている。

## 2) 粗ろ過装置（プレろ過）

中空糸膜による精密ろ過に先立ち、負荷低減のため、粗ろ過付きの2段階方式をとった。

粗ろ過器は、次の通り作成した。

CP012 浄水器のリザーバタンク部分を外して、粗ろ過ろ材のホルダ（受け皿）に利用した。

ろ材はエアコン用不織布フィルターとプラスチックウールを重ねてクルクル巻き、8 cm程の巻き簾にしてその口に差し込み、それをレジ袋の底の中央に水漏れのないように取り付ける。こうすることによって、「立体多層膜構造」になり、効率的な粗ろ過が出来るようになる。（写真2）その粗ろ過器を、小テーブルの一边にバネクランプで固定する。



写真2 雨水の粗ろ過中

## 3) 2段階ろ過の仕方

中空糸膜カートリッジはメーカーの説明通り、水につけてなじませておく。粗ろ過膜にも、水を通しておく。

1 段目 粗ろ過の流速は、ろ材の巻き方によって自由に調節できるが、今回は 20 秒/lにした。粗ろ過した水は 40lのプラスチックコンテナ 3 箱に一時保管した。

このろ過水を、2 段目の中空糸膜精密ろ過装置でさらにろ過した。

先に説明した自作の中空糸膜ろ過装置も小テーブルに吊るしておき、このポリ袋に 20lのカップで注いでいく。この袋は 2 段目のリザーバタンクとなり、4~6lくらいの注水が可能である。バネクリップで十分支持することが出来る。

なお、注水する時にこぼすと、原水が受け水に入り、コンタミネーションをおこすことになるので、レジ袋の耳のところをつまんで引きながら注意深く注水すると、コンタミは防止できる。

## 2 水質検査の進め方

雨水等の自然水については、水質基準は定められていない。水道法で定められている簡易の検査項目を一応の目安と捉え、水質検査を検査機関に依頼した。

検査項目は、一般細菌、大腸菌、塩化物イオン、有機物（全有機炭素の量）、pH値、臭気、色度、濁度、硝酸態窒素及び亜硝酸態窒素、電気伝導率の 10 項目とし、検査方法は、厚生労働省告示第 261 号、上水試験方法等によった。

採取した検体は、その都度冷蔵庫で保管し、実験で得られたろ過水と一緒にまとめてクール便で、株式会社山梨県環境科学検査センターへ送付した。なお、現場検査で pH 値及び電気伝導率を HORIBA の簡易測定器で測定した。

なお、雨水及び風呂水、それらのろ過水の採水日及びろ過等の処理日は、2019 年 10 月 13 日と 14 日で、台風 19 号が関東圏を通過した後であった。

## 3 雨水のろ過実験と結果

検体は、雨水 A 宅（東京都八王子市）のコンクリート製地下タンク水（容量 2 t）と雨水 B 宅（東京都練馬区）のプラスチック製地下タンク水（容量 2 t）の雨水及び、各々ろ過したろ過水である。

両方の雨水とも澄んでいたので、粗ろ過は省略して、最初の 20 を捨て水とした後、中空糸膜カートリッジろ過装置によるろ過水を採取した。

雨水はほぼ中性で、塩化物イオン、有機物、硝酸態窒素及び亜硝酸態窒素、色度や濁度はいずれも低く、また電気伝導率も、A 宅は 4.4  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 、B 宅は 28.9  $\mu\text{S}/\text{cm}$  と両方ともかなり低く、本来の雨水そのもののような水質であった (表 1)。

細菌については、一般細菌は水道水の水質基準である 100 個/ml の半分以下と少なかったが、ろ過水はどちらも不検出になった。一方の大腸菌は、元の水はどちらも陽性で、ろ過水はどちらも陰性となった (表 1、図 1)。なお、細菌については、「5 考察」及び「補足 細菌検査の捉え方」で詳述する (P. 4~6 参照)。

表 1 雨水タンク水とその中空糸膜ろ過水の水質検査結果

検体名	採取日	水温 °C	一般細菌 個/ml	大腸菌	塩化物イオン mg/l	色度 度	濁度 度	臭気	pH 値	有機物 mg/l	電気伝導率 $\mu\text{S}/\text{cm}$
雨水 A	10/13	23.5	40	陽性	0.6	0.6	0.4	異常なし	6.77	0.3 未満	4.4
Aろ過水	10/13	23.5	0	不検出	1.2	0.5 未満	0.1 未満	異常なし	6.72	0.3 未満	9.9
雨水 B	10/14	22.8	44	陽性	5.3	0.9	0.3	異常なし	6.27	0.3 未満	28.9
Bろ過水	10/14	21.5	0	不検出	5.6	0.5 未満	0.1 未満	異常なし	6.74	0.3 未満	32.6

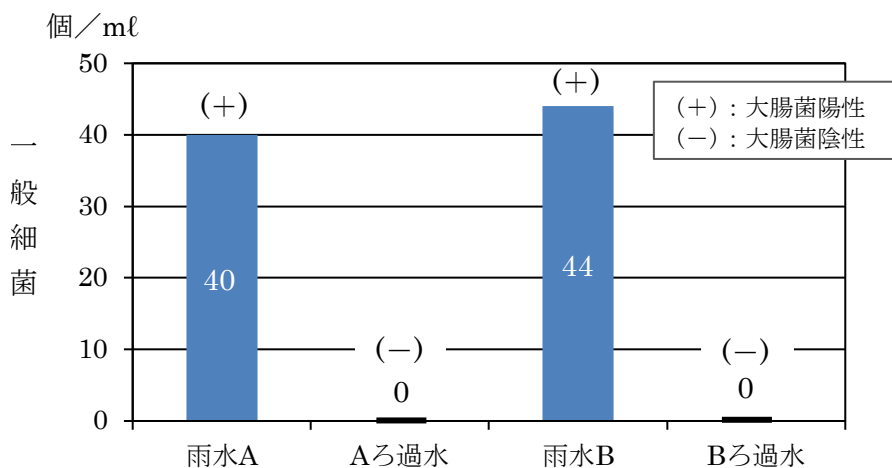


図 1 雨水とそのろ過水 一般細菌と大腸菌

#### 4 風呂の残り水のろ過実験と結果

##### 1) 風呂の残り水及び検体の調整方法

10 月 13 日に大人 4 人が入浴した後、翌朝まで風呂桶に蓋をして放置した。翌朝の水温は 35°C 程度で、多少の濁りが観察されたため、まず、残り湯の上済み 1200 を連続的に粗ろ過を行った (ろ過速度は 10 当たり 20 秒程度)。

検査用の検体は、粗ろ過は捨て水直後からの分、中空糸膜ろ過は 500 後及び 1000 後の分を各々検体とした (ろ過速度は 10 当たり 2.5 分~3 分程度で、一貫してほぼ一定)。

なお、実際には両ろ過システムとも 200 の捨て水をした後、20 ずつをフラクション採取していった。また、風呂の残り湯は、入浴当日が 40°C 程度、翌朝 35°C、その後 25°C 前後と低下したことを考慮し、残り水と表現することとした。

## 2) 風呂残り水のろ過実験結果

入浴前の水は、いずれの検査項目も水道水を反映した数値であったが、翌日の風呂の残り水で顕著な変化が現れた。一般細菌が0から150万個/mlに増え、大腸菌が陽性となり、臭気も「異常なし」から「生ぐさ臭」となった。その他の項目では、有機物や塩素イオン、濁度が少し上昇した程度であった。

表2 風呂残り水とそのろ過水的主要な水質検査結果

検体名	採取日	水温 ℃	一般細菌 個/ml	大腸菌	塩化物 イオン mg/l	色度 度	濁度 度	臭気	pH 値	有機物 mg/l	電気伝導 率 μS/cm
入浴前	10/13	40	0	不検出	8.4	0.5 未満	0.1 未満	異常なし	7.39	0.4	168
風呂残り水	10/14	35	1,500,000	陽性	10.2	0.5 未満	1.6	生ぐさ臭	7.26	2	177
粗ろ過水	10/14	24.5	420,000	陽性	10.2	0.5 未満	1	微生ぐさ臭	7.33	1.9	178
50Lろ過水	10/14	25.5	0	不検出	10.3	0.5 未満	0.1 未満	異常なし	7.49	1.4	178
100Lろ過水	10/14	-	0	不検出	10.3	0.5 未満	0.1 未満	異常なし	7.52	1.5	178

粗ろ過水は、大腸菌は陽性のままだが、臭気も多少抑えられ、一般細菌が42万個/mlに減少し、ある程度粗ろ過の効果が認められた。

クリンスイのカタログには、0.1μm以上の物質をろ過で除去できるとあるが、細菌の大きさはそれより大きく、一般細菌、大腸菌ともに完璧に除去できていた。濁度や有機物も、少し減少し、ろ過効果が表れていた。カートリッジに含まれる活性炭が、臭い成分を吸着して臭気も異常なしとなったようである。一方で、塩化物イオンのデータが示すように、入浴前の水から風呂残り水で2割程度上昇した後は変化がみられなかった。電気伝導率も同様に、入浴前の168μS/cmから風呂残り水で6%程度上昇後、そのまま推移し、理論通りにイオンとして溶けている電解質は通過していた(表2、図2)。

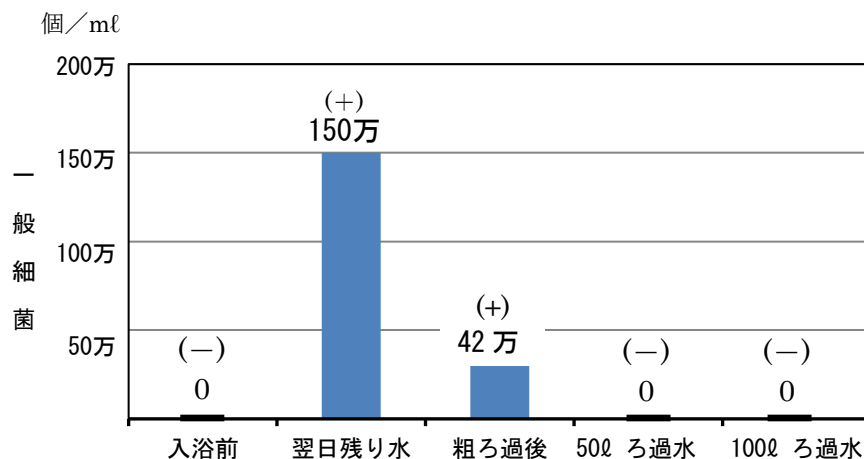


図2 風呂の残り水のろ過実験 一般細菌と大腸菌

## 5 考察

pH値及び電気伝導率に関し、依頼した水質結果について現場での簡易検査との相関をみたところ、どちらも相関係数が0.9以上とかなり良く、長距離輸送による検体の質的变化はないと思われた。

粗ろ過では、不織布の巻き締め方の程度でろ過速度が左右される。今回は10につき20秒程度と速

めであったが、粗ろ過の効果を高めるためにもう少しゆっくりのほうがよいと思われた。立体多層膜粗ろ過では、ゴミ、泥土の除去には効果があった。但し、微粒子の粘土類は、ろ過速度を遅くし詰まりの原因にもなるので入れてはならない。

中空糸膜は、細菌やカビ、原生動物などをろ過できる。今回使用した中空糸膜カートリッジは、風呂の残り水 100ℓをろ過した時点でも減速せずに機能し、ろ過器の性能は維持されていた。カタログでは水道水の場合 3 ヶ月でカートリッジの交換を推奨している（推定 200ℓろ過可）が、これは活性炭の残留塩素などに対する吸着力が低下することを考慮したものであるが、中空糸膜はさらにそれ以上かなりの長期間、ろ過機能を保持している。

筆者は 4 年間、様々な条件でこれと同じタイプのカートリッジを使用して、過酷な使用条件下でテストしたが、膜の損傷は少ないと実感している。災害時の飲み水は細菌的な汚染を除去することを目的としているので、実際に災害が発生した時には、台所で使用中のカートリッジをそのままレジ袋につないで使えると推察される。ただ、イオンとして溶けている電解質やウイルスは、中空糸膜のメッシュよりは小さく、除去できないことを踏まえておく必要がある。

今回の雨水は大雨の後で水質がとても良かったが、通常でも雨水は混じり物が少ないため、風呂の残り水よりもさらに多くろ過できると推察される。原水の色、濁り、臭気、浮遊物や沈殿物の有無などを観察し、それ自体の状態を知ることでも処理の参考になる。濁りがあるような場合は、粗ろ過を行うと、中空糸膜の寿命を長くできる。

今回実験結果として掲載しなかったが、以下の事例も報告しておく。

ほぼ 2 年前（2017. 9. 21）に風呂の残り水を粗ろ過（不織布ではなくティッシュペーパーを用いた）後、クリンスイ 1.3ℓポット（今回と同様の中空糸膜カートリッジ付き）で 2 日かけて、牛乳パック内に収めたポリ袋に 1ℓずつ順次ろ過した。それらを夏には 40℃以上になる屋根裏部屋の過酷な条件下で保存しておき、そのうち 70ℓろ過した後のろ過水を、一緒に検査依頼してみた。その結果は、一般細菌は 0 個/ml、大腸菌陰性であり、臭気が微ほこりかび臭となっただけで、その他の項目は問題なかった。なお、この水は、連続 2 日にわたってのべ 5 人が浴槽の中で体を洗って汚した風呂水で、特に無菌的処理もせず扱ったポリ袋中に保存したものであった。

この結果から、中空糸膜ろ過により菌が除去された後は、貧栄養の中、微生物の生育が長期間抑えられていると推察された。風呂の残り水は、体表面から出る垢やお尻周りの細菌が混入して増えるが、完全にそれらはろ過で取り除くことができ、家族全員の体調、病気や下痢などを把握し、健康ならば安全性は担保できる。100ℓの飲み水は、4 人家族で一週間以上の飲用に供することができる。身近な風呂の残り水や雨水から、市販の中空糸膜カートリッジを使っただけのろ過装置で、サバイバル飲み水を手に入れられる、一定の目途がついたといえよう。

だが、風呂の残り水や雨水のろ過水を飲むということに対する抵抗感が強いのではないかと思われる。その払拭の一助となるよう、以下に細菌の捉え方や自ら安全性を確認する必要があることについて追記した。

## 補足 細菌検査項目の捉え方

### 1) 一般細菌

一般細菌は、環境中どこにでもいる菌で、人間は菌に囲まれて生きている。人間の皮膚表面にも常在細菌がいて感染防御の役割を果たしている。入浴時にはそれらが表皮細胞などとともに剥がれて浴槽中にも混入することになる。

水道法で、一般細菌が 1ml 中に 100 個以下と定められているのは、浄水場から配水される水道水の残留塩素が末端の蛇口まで維持されているか、その消毒効果を確認する指標としてのためである。一

方、流通する食品の場合、「食品衛生法及び衛生規範における微生物規格基準」（1959年 厚生省告示第370号及び1979年 環食第161号）では、サラダや生野菜など総菜類は、1g中に100万個以下と定められており、水道水の1万倍の許容度である。

一般細菌は、人の身の周りにいて当たり前の菌であり、無菌や除菌をやたらに追求するのは問題である。自然水中の一般細菌は、周囲の条件を併せて総合的に判断するための参考とすべき項目である。

## 2) 大腸菌

緊急時には、発がん性などの慢性毒性ではなく急性毒性、つまり水系感染症や伝染病を起こす可能性のある病原菌を排除することが重要である。尿は、血管系から老廃物や余分な成分などが腎臓の糸球体でろ過され過剰な水分も取り除かれて、膀胱から排出されてくるもので、基本的には無菌のものである。

大腸菌は、糞便中に普遍的に存在するもので、大部分の菌株は病原性を持っていない。だが、水系の感染症や伝染病を起こす病原微生物が伝搬するのは、糞便を介する機会が多い。そのため大腸菌は、病原菌が糞便に紛れ込んでいるか否かを知る糞便性汚染の指標として、水中の大腸菌の有無が検査されている。

現在行われている水中の大腸菌検査は、特定酵素基質培地法といってβ-ガラクトシダーゼという酵素（乳糖分解酵素）を持っていると着色する大腸菌群<sup>\*2</sup>と、β-グルクロニダーゼという酵素を持っていて紫外線照射下で蛍光を発する大腸菌とを、同時に判定できるというものである。この検査は大腸菌が検水100ml中に1個でも存在すると陽性となる。とても感度がよく、大腸菌群よりも、より厳密に糞便性汚染を検索することができる。

しかし、環境中にある大腸菌以外の菌でもβ-グルクロニダーゼを持っていて、検査で陽性と判定されることがある<sup>1)</sup>。今回の雨水タンク水が大腸菌陽性となったのは、一般細菌が約40個/mlと少なかったことを考え合わせると、アエロモナス属、緑膿菌といった、環境中の別の菌の存在によると推察された。

<sup>\*2</sup>大腸菌群：乳糖を分解してガスを産生するグラム陰性の芽胞をつくらない、好気性または酸素の有無に関係なく発育する桿菌。大腸菌以外にも、クレブシエラ属、サイトロバクター属、エンテロバクター属などがこの範疇に入る。中には糞便とは直接関係のない菌もあるため、安全性の指標というより、食品分野などでは衛生環境が保たれているかの汚染指標菌と捉えられている。大腸菌群の中にも大腸菌検査で偽陽性になる菌もある。

## おわりに・・・安全性は自分で考え判断しよう！

突然の災害時には、水質検査は到底できない。電気もガスもなく、煮沸消毒もできない。塩素剤などは、保存温度条件や経年により劣化し、濃い濃度ではかえって危険な物質で、一般には扱いが難しい。そういう前提で判断しなければならない。

私たちは、高度に役割が分業化し細分化した現代に生き、様々な科学技術文明の恩恵に浸りきっている。平常時は個々の使われている技術自体を知らなくても、末端のユーザーとして大いに活用することは出来てきた。だが突然、インフラの途絶等で生活物資・家電等々が使用不可になれば、自らの持てる力で生き延びる以外にない。国も、自分の身は自分で守れと言い出しているが、知識や知恵を総動員して自らを奮い立たせることが必要になる。

身近な雨水や風呂の残り水は自然水なので、「飲めるか飲めないか」ではなく「飲むか飲まないか」を自分自身で判断し、納得して飲む以外にない。風呂の残り水を災害時に飲むならば、自ずと風呂水を汚さないための工夫が重要になる。風呂水に入浴剤や薬品、洗剤などを混入させないこと、体をよ

く洗ってから湯船に入ることなどを家庭内で共有することが求められる。五感を鋭敏にして、安全性を確かめる一助にすることも欠かせない。

最後に自戒を込めて、水に係わる次の話をしておきたい。筆者らは長年東京の保健所で、半世紀近くも環境衛生業務に携わってきた。市民から「この水飲めますか」と相談を受けるたびに、説明に苦慮してきた。水質検査は、持ってきた「この水」自体については出来るのだが、相談者は実際に飲む「もとの水」の安全性について判断を求めているのである。沢水や井戸水などの自然水は、常に変化しているので、検査結果の延長線で「安全性」を担保することは、論理的に不可能なのである。検査するとしても、何か不安な事象がなければ、検査項目は「水道法水質基準」の簡易な項目だけである。その水道水の水質基準とは、製造物責任法と同様の考え方で、水道事業者が水道水の製造及び配水供給者責任として、安全性の保証とともに品質管理を行うために定められたものである。

平常時では水道水を飲むようにと言えるが、水道が使えない非常時に「検査しなければわかりません」と言えようか、また「一体何を検査するのか」、応えに窮するに違いない。

また、水道水といっても、安全性には二面性がある。人間が得やすい川や地下水から、水道水にする元の水をもらってくる。巨大都市東京が必要とする水道水を、各戸に安全、安価かつ潤沢に供給しようとするれば、見えないところで「自然環境」に大きな影響を及ぼす危険性をはらんでいる。遠隔地の山峡にダムをいくつも作り、村々をダム湖に沈める。流れ下る途中の市や町で何度も川の水を採取しては、また排水を川に戻すことを繰り返し、最下流では川の自浄作用も衰える。水の汚れをオゾン処理と生物活性炭という高エネルギーをかけて分解し、残留塩素を適度に保った良質の水道水を配水し、飲み水どころかトイレにまで流している。使い終わった排水を見てみると、早期に整備された合流式下水道では、大雨になると生下水が近くの川へ、そして海へと流れ出て海洋を汚染する。市民に、水道水の背後に隠れた自然破壊の危険性を伝えることなく、水道法による検査を唯々諾々として行ってきた。そのような我々衛生行政に携わってきた者にも反省が必要である。

それにもう一つ別の観点からも問題がみえる。塩素系薬剤や衛生設備の発展は、公衆衛生に大きな貢献をしてきた。しかしそれらは、「無菌の環境」を理想とする潜在意識を植え付けることになったのではないか。今日の日本では「キレイキレイ」がもてはやされている。「行き過ぎた清潔感」へと、我々も加担してしまったのではなかったか。人間は、細菌、微生物、あまたの生きものの中でしか生きていけない存在である。環境を壊せば、後の世代が生きていけない。この地球上で共に生きていくという意識が薄れた結果、今日の抜き差しならぬ「地球環境問題」に直面しているといっても過言ではない。

災害時の飲み水確保は、身近な水を工夫して処理すれば得ることができる。ちまたにある物を活かした適正な技術と、自己の意識の切り替えによってできる。そして目先の災害だけではなく、災害が多発する「真の原因」について考えていくことを、筆者らは望んでいる。

#### <参考文献>

- 1) 糞便汚染指標としての大腸菌検査に関する基礎的検討 古畑勝則、福山正文、大仲賢二 麻布大学雑誌 第11・12巻 2005年
- ・「知恵から生まれる希望のともしび」東京都武蔵調布保健所パンフレット 1995年
- ・上水試験方法 2011年版 V.微生物編
- ・「雨水活用のもう一つの課題」柴早苗 「水利科学」 第63巻第4号2019年
- ・「都市の水循環」押田勇雄編 ソーラーシステム研究グループ著 NHK ブックス 1982年刊
- ・「都市のゴミ循環」押田勇雄編 ソーラーシステム研究グループ著 NHK ブックス 1985年刊