広く生体反応に関わる鉄硫黄蛋白質

岡山理科大学・理学部・生物化学科 南 善 子, 高 橋 康 弘*

大阪大学・理学部・生物学科* 松 原 央

A brief description is made to explain various iron-sulfur proteins which are widely distributed in various organisms and functioning in diverse metabolic systems. It includes the types of iron-sulfur cluster, classification of the iron-sulfur proteins based on the numbers of iron and sulfur atoms and the functions of these proteins. Model drawings of three dimensional structures are shown for several typical iron-sulfur proteins.

Iron-Sulfur Protein/Iron-Sulfur Cluster

1. はじめに

広い意味では鉄硫黄蛋白質とは、蛋白質中のシステイン残基の硫黄が配位した非ヘム鉄を持つものを総称している。多くの場合、蛋白質のシステイン残基以外に無機硫黄を含み、鉄とクラスターを形成する。この蛋白質は、細菌から高等動植物に至るまで幅広く分布し、電子伝達をはじめとする様々な生理機能を担っている。代表的なものにシステイン残基の硫黄と鉄の配位のみからなるルブレドキシン、システインの硫黄と無機硫黄の両方が鉄に配位したフェレドキシン、鉄硫黄クラスター以外にもフラビンのような他の補欠分子族を持つコハク酸脱水素酵素などが挙げられる。それらの生理機能や酸化還元電位、吸収スペクトルをはじめ、常磁性共鳴 (EPR)、核磁気共鳴 (NMR) などの測定から多くの知見がえられており、アミノ酸配列、X線結晶構造解析による立体構造なども明らかになっている^{1)~5)}。

蛋白質に含まれる鉄硫黄クラスターは、一部を除き、 $[xFe-xS]$ ($x=2\sim4$) の形で存在する。ユニークなものとして、MクラスターやPクラスターと呼ばれているものなどがあるが、これらについては後述する(3.(4))。次項の2.では、典型的な鉄硫黄クラスターとそのクラスターに配位するアミノ酸配列について一

般的な事柄を解説する。次の3.では含まれるクラスターの種類により蛋白質を分類し、いくつかの代表例を挙げ性質などについて詳述する。

2. 鉄硫黄クラスター

鉄硫黄クラスターは、蛋白質中において電子伝達や酵素の活性中心として機能する。含まれる無機硫黄は非常に不安定で、酸性条件下でクラスターから容易に遊離し硫化水素として独特の硫黄臭を放つ。

鉄硫黄クラスターは、図1に示したように蛋白質の中で $[2Fe-2S]$ や $[3Fe-4S]$ あるいは $[4Fe-4S]$ として存在し、その数は蛋白質により1~数個と様々である。アコニターゼの研究で $[3Fe-4S]$ クラスターは、一時、平面的な六員環構造の $[3Fe-3S]$ と考えられたが、後に $[3Fe-4S]$ であることが明らかにされた⁶⁾。このクラスターは $[4Fe-4S]$ クラスターに再構築することができるが、一般的には、その存在意義についての研究は少ない。

通常、クラスターの電荷は $[2Fe-2S]$ の場合、酸化型で $[2Fe-2S]^{2+}$ 、還元型で 1^+ であるが、 $[4Fe-4S]$ の場合、低電位のもので酸化型が 2^+ 、還元型が 1^+ 、高電位のものでそれぞれ 3^+ と 2^+ となっている。

ほとんどの鉄硫黄蛋白質はクラスターの配位部位に特徴的なシステイン分布を持つ。以下に代表的な鉄硫黄蛋白質であるフェレドキシンでの例を示す (フェレドキシンについては、3.(2)-1で詳細に述べる)。:

$[2Fe-2S]$ 型

-----CXXXXCXXC----- $\parallel$ -----C-----

$[3Fe-4S]$ 型

-----CXXXXXC----- $\parallel$ -----CP-----

$[4Fe-4S]$ 型

Iron-Sulfur Proteins Involved in Various Biological Reactions

Yoshiko MINAMI, Yasuhiro TAKAHASHI*, and Hiroshi MATSUBARA

Department of Biochemistry, Faculty of Science, Okayama University of Science

* Department of Biology, Faculty of Science, Osaka University

図1. ●は鉄原子, ○は無機硫黄原子, Cは蛋白質のシステイン残基を表わす。

-----CXXCXXC----- ff -----CP-----

(Cはシステイン, Pはプロリン, Xは任意のアミノ酸を示す). しかし, これらシステインの分布が全ての鉄硫黄蛋白質に適應できる訳ではない. 2つのシステイン間のアミノ酸数が異なっていたり, プロリンを欠いていたり, システインの1つが別のアミノ酸に置換していたりする例が多数見られる.

クラスターの形成に必要な配列や残基を知るために最近では遺伝子操作を利用した部位特異的変異の手法が用いられ, 現在までに多くの情報がえられている³⁾. たとえば, 配位子のシステインの1つを別のアミノ酸に置換したりするとクラスターが形成されなかったり, あるいはクラスターを含むが生理活性を持つ三次元構造を取れなかったりすることが多い. しかし, 立体構造, 活性ともにほとんど影響を受けないこともある. この場合, 失われたシステインのかわりに別のシステインが配位に加わる例が知られている. また, 配位子の1つのシステインを別のアミノ酸に変えるとクラスターの種類が変化したりもする. 逆に, [3Fe-4S] クラスターをもつ蛋白質では, 適当な位置のアミノ酸をシステインに置換し, システイン残基を4つにすると [4Fe-4S] クラスターに変わることも知られている.

3. 鉄硫黄蛋白質の分類

鉄硫黄蛋白質に含まれるクラスターの種類により, 以下のように大きく4つのクラスに分類する. 鉄硫黄蛋白質の例として, ルブレドキシンとフェレドキシンの立体構造を図2と3に示す.

(1)不安定無機硫黄を含まずシステインの硫黄が鉄原子に配位している場合

(1)-1 ルブレドキシン

ルブレドキシンは細菌類に存在し, 4つのシステインの硫黄が1つの鉄原子に直接配位している蛋白質である (図2, A). 嫌気性細菌のものは, アミノ (N)

図2. A: *Clostridium pasteurianum* のルブレドキシン, B: *Spirulina platensis* の [2Fe-2S] フェレドキシン, C: *Desulfovibrio gigas* の [3Fe-4S] フェレドキシン, D: *Bacillus thermoproteolyticus* の [4Fe-4S] フェレドキシン. クラスター中の●は鉄原子, ○は無機硫黄原子を表わす. (大阪大学理学部, 福山恵一博士提供)

末端およびカルボキシル (C) 末端付近の各々のシステイン分布 C-X-X-C に含まれる計4つのシステインが1原子の鉄に配位しており, 硝酸還元酵素に電子をわたすとされている. 好気性細菌 *Pseudomonas* のルブレドキシンは上のものに比べて大きい分子で, 通常1原子の鉄を含むが, さらにもう1原子, 鉄を結合することができる. 炭化水素や脂肪酸の ω -水酸化系の電子伝達体として働く.

(1)-2 デスルホレドキシン

Desulfovibrio gigas から見つかった鉄硫黄蛋白質で2原子の鉄と8残基のシステインを含むがその生理的役割は明らかになっていない.

(2) 不安定無機硫黄と鉄とのクラスターをもつ場合

(2)-1 フェレドキシン

生物界に広く分布し, さまざまな代謝系において, 酵素としての作用を持たず, 電子伝達のみを行う蛋白質である. 以下のように, 5つの型があり同じ型の蛋白質間では種を超えて, そのアミノ酸配列に高い相同性を示す.

a. [2Fe-2S] フェレドキシン (図2, B)

ほとんどの植物, 真核藻類, シアノバクテリア (藍色細菌) および少数の細菌類に含まれるフェレドキシンで, 光合成, 亜硝酸還元, 亜硫酸還元, グルタミン

酸合成、窒素固定、チオレドキシンの酸化還元、脂質脱飽和などの系で電子伝達を行うが機能不明のものもある。

また、動物の副腎皮質に存在するアドレノドキシンはミトコンドリアのステロイド水酸化酵素系で働き、チトクロム P-450 に電子を渡す。動物組織には、この他レノドキシンの、ヘパトレドキシンのなどがある。

また、ショウノウを栄養源として生育する *Pseudomonas putida* はカンファーマチレン水酸化酵素系で電子伝達体として働くプチダレドキシンの持つ。

b. $[3\text{Fe}-4\text{S}]$ フェレドキシンの $[4\text{Fe}-4\text{S}]$ フェレドキシンの (図 2. C, D)

細菌の中には、 $[3\text{Fe}-4\text{S}]$ あるいは $[4\text{Fe}-4\text{S}]$ クラスタを 1 つ持つフェレドキシンの含むものがある。これらのフェレドキシンの硝酸、硫酸や CO_2 の還元、ビルビン酸酸化などの酸化還元反応に関与する。*Bacillus* 類等は $[4\text{Fe}-4\text{S}]$ フェレドキシンの、硫酸還元菌の *Desulfovibrio* 等は $[3\text{Fe}-4\text{S}]$ および $[4\text{Fe}-4\text{S}]$ フェレドキシンの持つ。

また、変わったところでは海底火山の 100°C 以上の環境で生育する嫌気性高度好熱菌 *Pyrococcus furiosus* の $[4\text{Fe}-4\text{S}]$ フェレドキシンのなどがある⁷⁾。これは、20% SDS 水溶液中においても、また、 95°C の高温で 12 時間処理しても安定で 3 つのシステインと 1 つのアスパラギン酸とを使ってクラスタを形成する。

c. $[3\text{Fe}-4\text{S}]$ $[4\text{Fe}-4\text{S}]$ フェレドキシンの 2 $[4\text{Fe}-4\text{S}]$ フェレドキシンの (図 3. A, B)

多くの嫌気性発酵細菌や光合成細菌には $[4\text{Fe}-4\text{S}]$ クラスタを 2 つ持つフェレドキシンのが存在する。また、 $[3\text{Fe}-4\text{S}]$ $[4\text{Fe}-4\text{S}]$ フェレドキシンの *Azotobacter* や *Desulfovibrio* 類など多くの細菌に存在する。これらはヒドロゲナーゼ系、窒素固定系、ビルビン酸酸化などで電子伝達体として関与する。

図 3. A: *Azotobacter* の $[3\text{Fe}-4\text{S}]$ $[4\text{Fe}-4\text{S}]$ フェレドキシンの、B: *Clostridium* の 2 $[4\text{Fe}-4\text{S}]$ フェレドキシンの

また、メタン産生菌にはポリフェレドキシンのと呼ばれる鉄硫黄蛋白質が存在しメタン産生系の電子伝達体として機能していると推定されている。これは、2 $[4\text{Fe}-4\text{S}]$ フェレドキシンのシステイン分布の 6 回の繰り返し構造をもち、 $[4\text{Fe}-4\text{S}]$ クラスタを 12 個含んでいると考えられている。

(2)-2 高電位鉄硫黄蛋白質 (HiPIP)

光合成細菌や脱窒素細菌などに存在し、光合成、嫌氣的代謝、チオ硫酸酸化系等で働くと考えられている。多くの一次構造が知られているが、フェレドキシンの類似性はない。 $[4\text{Fe}-4\text{S}]$ クラスタを持ち、高い還元電位 (約 $+340\text{mV}$) を示す。

(2)-3 酸化還元を行わない酵素

a. アコニターゼ

クエン酸回路中でクエン酸 $\rightleftharpoons$ イソクエン酸の反応を触媒し、鉄により活性化される酵素である。活性型は $[4\text{Fe}-4\text{S}]$ クラスタをもち、特定の鉄が脱離すると $[3\text{Fe}-4\text{S}]$ クラスタに変わって失活する。再び 4 鉄に再構成されることにより活性に戻る。この 4 番目の鉄原子にクエン酸が配位する。

b. フマラーゼ

クエン酸回路の関連酵素でリンゴ酸 $\rightleftharpoons$ フマル酸の反応を触媒する。大腸菌には 3 つの型のフマラーゼが存在し、このうち 2 つは好気性生物のフマラーゼと全く相同性がなく、むしろ、そのシステインの分布はアコニターゼと相同性を持つ。

c. エンドヌクレアーゼ III

大腸菌のものが知られており、傷害を受けた DNA ヌクレオチドの修復に関与する。この酵素は、 $[4\text{Fe}-4\text{S}]$ クラスタをもち、酸化により容易に $[3\text{Fe}-4\text{S}]$ クラスタに変わる。

(2)-4 遺伝子調節を行うもの

a. IRE-BP (Iron responsive element binding protein)

IRE-BP は、mRNA に結合することで鉄貯蔵蛋白質であるフェリチンとトランスフェリンレセプターの生合成を調節する。IRE-BP のアミノ酸配列はアコニターゼに似ており $[3\text{Fe}-4\text{S}]$ クラスタをもつ。鉄がこのクラスタに結合すると $[4\text{Fe}-4\text{S}]$ にかわり、蛋白質のコンフォメーションの変化を引き起こす。

b. 大腸菌のフマル酸/硝酸還元酵素調節蛋白質

この蛋白質は無酸素状態に反応して様々な酵素の発現を DNA レベルで制御調節する。この蛋白質の C 末端には DNA 結合部位を、N 末端にはシステインリッチな領域をもつ。これらのシステインのいくつかは酵素の機能に必須であるが、蛋白質に結合している鉄の

形は今のところわかっていない。

(3)鉄硫黄クラスター以外に補欠分子族を持つ場合

(3)-1 呼吸鎖で働くもの

a. ミトコンドリアの複合体Ⅰ (NADH ユビキノンレダクターゼ)

複合体Ⅰは、30種以上のサブユニットから構成され、少なくとも5つの鉄硫黄クラスターを含む。そのうち、51kDa サブユニットはFMN, [4Fe-4S] クラスターをもつことが知られている。また、75, 24, 20kDa サブユニット中には、いくつかの [2Fe-2S] や [4Fe-4S] クラスターが存在する。最近、*Paracoccus* の複合体Ⅰの25kDa サブユニット中に、4つのシステインによって配位される [2Fe-2S]²⁺ クラスターが存在することが明らかになった⁸⁾。この蛋白質のシステインの分布は *Clostridium* の [2Fe-2S] フェレドキシンのもものと類似性がある。

b. ミトコンドリアの複合体Ⅱ (コハク酸ユビキノレダクターゼ)

複合体Ⅱは4種のサブユニットから構成されるが、そのうち2つの親水性サブユニットFp (70kDa, FADを含む)とIp (27kDa)のみでコハク酸の酸化を行う。Ipには3つの鉄硫黄クラスター、S-1~3が含まれ、それぞれ [2Fe-2S], [4Fe-4S], [3Fe-4S] 型である。Ipの中には、システインに富んだ領域が8カ所あり、植物の [2Fe-2S] フェレドキシン、細菌の [4Fe-4S] フェレドキシンと [3Fe-4S] フェレドキシンのシステイン分布が見られる。

大腸菌には、嫌気呼吸鎖の末端還元酵素として働き、鉄硫黄クラスターとフラビンを含むフマル酸キノン酸化還元酵素 (FRD) が存在する。FRDのサブユニット組成やアミノ酸配列は複合体Ⅱに類似している。

c. ミトコンドリアの複合体Ⅲ (ユビキノール-チトクロムcレダクターゼ)

ミトコンドリアの電子伝達系の複合体Ⅲに存在する Rieske 蛋白質は、比較的高い電位 (0~+300mV) を持つ。[2Fe-2S] クラスターの鉄原子の1つにはシステインのかわりに、2つのヒスチジンイミダゾールの窒素が配位している。これと似たものが、葉緑体やシアノバクテリアのチトクロムb₆f 複合体中、また光合成細菌の電子伝達複合体中にも見られ、やはり、キノン類やチトクロム類との間で電子の受け渡しを行う。

(3)-2 光化学系Ⅰ複合体 (PSⅠ)

葉緑体の光化学反応中心の一つであるPSⅠはクロロフィルやフィロキノンに加えて3つの [4Fe-4S] クラスター (センターA, B, X) が存在する。そのう

ち、クラスターXは、酸化還元電位が-705mV, 約83kDaの2つのサブユニット間に結合しており、次のF_A/F_Bに電子をわたす。これらの蛋白質はロイシンジッパーと呼ばれるアミノ酸配列を持ち、クラスターが配位しやすいようにシステインを位置付けしていると考えられる。クラスターAとBは9kDaのサブユニットF_A/F_B蛋白質に存在し、[2Fe-2S] フェレドキシンに電子をわたす。この蛋白質は、弱塩基性、親水性で、細菌の2 [4Fe-4S] フェレドキシンと高い相同性を示す。

(3)-3 オキシゲナーゼ

オキシゲナーゼ系で働く鉄硫黄蛋白質には、補欠分子族として、鉄やFMN, FADなどを含むものと、プチダレドキシン (上記(2)-1, a) のようなフェレドキシン様のものがある。補欠分子族を持つ例としては、トルエンジオキシゲナーゼやナフタレンジオキシゲナーゼなどがある。細菌の安息香酸およびトルイル酸ジオキシゲナーゼの鉄硫黄フラビン蛋白質は [2Fe-2S] クラスターをもち、N末端領域が [2Fe-2S] フェレドキシンに、C末端領域が他のフラボプロテインに良く類似している。

(3)-4 モリブデンやニッケルなどを含むもの

a. モリブド鉄硫黄蛋白質

ニトロゲナーゼを除いてこの種の蛋白質はモリブドプテリン補因子の形でモリブデンを持っている。この蛋白質には、硝酸、蟻酸、ジメチルスルホキシド還元酵素のように数個の [4Fe-4S] クラスターを持つ酸化還元酵素とキサンチン脱水素酵素やアルデヒド酸化酵素のように2つの [2Fe-2S] クラスターを持つモリブデン水酸化酵素がある。ショウジョウバエやラット肝のキサンチン脱水素酵素のN末端近くにはシステインリッチな部位があり、そのうち、1組のシステイン分布は [2Fe-2S] フェレドキシンのクラスター結合部位に似ている。細菌の蟻酸脱水素酵素は鉄硫黄クラスター、モリブデン、タングステン、セレン、フラビンを含む。また、*Clostridium thermoaceticum* の酵素のようにモリブデンのかわりにタングステンをもつものもある。

b. ニッケル脱水素酵素

この酵素は多種の細菌に含まれニッケルと鉄硫黄クラスターを持つ。この鉄硫黄クラスターがニッケル部位とフェレドキシンのような電子受容体あるいは供与体との間での電子伝達を行う。一部にはセレンを含む酵素もあり、セレノシステインの形で存在する。

(3)-5 シロヘム鉄硫黄蛋白質

植物や細菌にはシロヘムと鉄硫黄クラスターを含む亜硫酸、亜硝酸還元酵素が存在する。その例として、植物のフェレドキシン亜硝酸還元酵素等があり、 $[4\text{Fe}-4\text{S}]$ クラスターとシロヘムを含む。また、大腸菌のものでは、 $[2\text{Fe}-2\text{S}]$ クラスターとシロヘム以外にFADを持つ。

(4)ユニークなクラスターを持つ鉄硫黄蛋白質

(4)-1 ニトロゲナーゼ

窒素をアンモニアに還元するニトロゲナーゼは活性中心を持つジニトロゲナーゼとジニトロゲナーゼへの特異的電子供与体であるジニトロゲナーゼ還元酵素から構成される。ジニトロゲナーゼには、モリブデンと鉄を含む蛋白質、バナジウムと鉄を含む蛋白質、鉄のみを含む蛋白質が知られており、いずれもPクラスターと呼ばれるユニークな鉄硫黄クラスターを含む。これらの蛋白質は、 $\alpha_2\beta_2$ サブユニットからなり、 α 、 β それぞれの3つのシステインがPクラスターの配位に用いられる(図4, A)。また、Mo ニトロゲナーゼは Fe_7MoS_8 をもち(図4, B)、V ニトロゲナーゼは $\text{Fe}_5\text{-}_7\text{VS}_4\text{-}_6$ をもっていることが知られている。また、ニトロゲナーゼ還元酵素は低電位でフェレドキシンやフラボドキシンから電子を受けとり、ATPの加水分解に共役してジニトロゲナーゼに電子をわたす鉄蛋白質である。この蛋白質は2量体構造をとり、各サブユニットの2つのシステインの配位によって1つの $[4\text{Fe}-4\text{S}]$ クラスターを形成している。ニトロゲナーゼに類似したタンパク質は被子植物を除き光合成

生物にも分布し、光非依存性のプロトクロロフィライド還元酵素として機能することが最近明らかになった¹⁰⁾。

(4)-2 CO 酸化還元酵素

酢酸産生菌やメタン産生菌の酢酸代謝系で働くCO酸化還元酵素は数個の $[4\text{Fe}-4\text{S}]$ クラスターと $[6\text{Fe}-6\text{S}]$ クラスター¹¹⁾と推定されるものを含む。また*Clostridium thermoaceticum*のものでは鉄、ニッケル、炭素から成る Fe-Ni-C クラスター¹²⁾が見つかっている。

4. 終りに

鉄硫黄蛋白質は、そのクラスターや補欠分子族の存在のため可視部に幅の広い吸収スペクトルを示し、吸収極大は含まれるクラスターの種類に依存する。しかし、その幅広い吸収のため鉄硫黄蛋白質の特徴を捉えるには不十分である。そこで、クラスターの種類や性質、機能を調べるために、EPR, NMR, メスバウアー、電子-核二重共鳴 (ENDOR)、磁気円二色性 (MCD) スペクトルなどの手法が用いられる。さらに、これらとともに有効な情報を提供してくれるのは、X線結晶構造解析であろう。良好な結晶を得ることが必要であるが、最近の各種技術の改良によって微量の小結晶でも迅速に解析できる時代が到来している。将来、さらに多種多様の鉄硫黄蛋白質が発見され、その構造と機能の相関や相互関係が解明されるであろう。ここで例に挙げたもの以外にも、いくつもの鉄硫黄蛋白質が知られているが紙面の関係上削らせていただいた、詳細は他の総説を参照していただきたい³⁾⁻⁵⁾。

文 献

- 1) Armstrong, F. A. (1992) *Advances in Inorganic Chemistry: Iron-Sulfur Proteins* (Cammack R., ed.) **38**, 117-163, Academic Press Inc., San Diego, California.
- 2) Hagen, W. R. (1992) *Advances in Inorganic Chemistry: Iron-Sulfur Proteins* (Cammack R., ed.) **38**, 165-222, Academic Press Inc., San Diego, California.
- 3) Cammack, R. (1992) *Advances in Inorganic Chemistry: Iron-Sulfur Proteins* (Cammack R., ed.) **38**, 281-322, Academic Press Inc., San Diego, California.
- 4) Matsubara, H., Saeki, K. (1992) *Advances in Inorganic Chemistry: Iron-Sulfur Proteins* (Cammack R., ed.) **38**, 223-280, Academic Press Inc., San Diego, California.
- 5) Beinert, H. (1990) *The FASEB J.*, **4**, 2483-2491.
- 6) Beinert, H., Kennedy, M. C. (1993) *The FASEB J.*, **7**, 1442-1449.

図4. モリブド鉄蛋白質に含まれるPクラスター (A) とMクラスター (B) (文献9から引用)

- 7) Conover, R. C., Kowal, A. T., Fu, W., Park, J.-B., Aono, S., Adams, M. W. W., Johnson, M. K. (1990) *J. Biol. Chem.*, **265**, 8533-8541.
- 8) Crouse, B. R., Yano, T., Finnegan, M. G., Yagi, T., Johnson, M. K. (1994) *J. Biol. Chem.*, **269**, 21030-21036.
- 9) Kim, J., Rees, D. C. (1992) *Science*, **257**, 1677-1682.
- 10) 藤田祐一 (1994) 化学と生物, **32**, 337-342.
- 11) Jetten, M. S. M., Hagen, W. R., Pierik, A. J., Stams, A. J. M., Zehnder, A. J. B. (1991) *Eur. J. Biochem.*, **195**, 385-391.
- 12) Fan, C. L., Gorst, C. M., Ragsdale, S. W., Hoffman, B. M. (1991) *Biochemistry*, **30**, 431-435.

みなみ よしこ

1989年, 大阪大学大学院理学研究科博士課程修了。学術振興会特別研究員, 神戸山手女子短期大学助手, 米国テキサス大学サウスウエスタンメディカルセンター留学を経て, 1992年より現職。興味の対象は, 生体内における蛋白質の代謝で, 現在, 植物色素の代謝経路の研究にも取り組んでいる。趣味は山歩きなどいろいろとあるが, 忙しいの一言でかたずけて最近あまり遊んでいない。連絡先 〒700 岡山市理大町1-1 岡山理科大学, 理学部, 生物化学科 TEL 086-252-3161 内4105

編集後記

私の所属している組織にネットワークシステムが完成したのが数年前である。物珍しさも手伝って覗いてみたものの, 初心者には使いにくいと疎遠になっていたが, それでも限られた知人との連絡にはe-mailを細々と使っている。最近, ネットワークについての2つの経験をした。一つは阪神大震災の折りに知人の無事の確認にe-mailが役立ったこと。もう一つは本誌の“ひとくふう”の原稿として有用なプログラムの公開をお願いしたときである。公開はよいがその後の対応が個人ではとても煩わしいというのが著者の危惧である。どこかのネットワークに登録する場所を確保するなどして著者に負担をかけないようにすることが不可欠と感じた。近ごろ, いたたく名刺にe-mail番号の入ったものが増えてきた。私も, 次の名刺にはぜひ入れたいと考えている。

(M. M.)