分枝脂肪酸の生化学

植 田 伸 夫

東京大学医学部生化学教室(文京区本郷 7-3-1)

Biochemistry of Branched Chain Fatty Acids

Nobuo UETA

Department of Biochemistry, Faculty of Medicine, The University of Tokyo
(7-3-1, Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo)

分枝脂肪酸といえば、ごく常識的には炭素鎖の分枝があると考えてよいであろう。炭素鎖以外の =O, -OH, -NH₂ など、またそれらを介した枝などもありうるが、そのようなものは一応除外して考えてみたい。

高等動物や、われわれの身近の高等植物だけを考えると、分枝脂肪酸はあったとしてもごくわずかであるという認識に誤りはないが、細菌群の中には分枝脂肪酸が脂質の主要構成成分である場合があって、生物圏全体では、われわれの直観よりは、はるかに多くの量の分枝脂肪酸があるのだと考えた方がよさそうである。

かてに加えて、そのすぐれた温度特性と抗酸化性から Neo acid といわれる諸種の分枝脂肪酸が工業的に合成されて、ジェットエンジンの潤滑油として、また塗料溶剤として市販されている。

このような立場から、生物と分枝脂肪酸の係り合いを改めて整理してみるのも故なきことではあるまい。しかし、なにぶんにも多種、広範な領域のこととて、百科辞典のようにすべてを記載することもできがたいし、またそれを簡明に整理することも、小生の力量の及ぶところではない。以下、筆の及ばざるところ、また筆のおよびに故なき軽重のあることはお許し願いたい。

1 分枝脂肪酸の種類と分布

1.1 10-メチル脂肪酸

1920年代の終りに、Anderson と Chargaff¹⁾ は、結核菌より、炭素数が 19 で、飽和でありながら室温で液状を示す脂肪酸を取り出した。これは間もなくツベルクロスチアリン酸と名づけられ、10-メチルオクタデカン酸であることが、多くの人達の手によって確認されたが、この一連の仕事が、この実り多い領域の研究の先導であった。それ以来、多くの *Mycobacterium* より、

炭素数の非常に多い分枝脂肪酸が、続々と分離同定されたが、それらは別項で述べられよう。

Anderson らの仕事から後に、結核菌以外の *Mycobacterium* や、*Nocardia* にもツベルクロスチアリン酸と同族の分枝脂肪酸のあることが、いくつかの報文で知らされた。たとえば Agre と Cason²⁾ は、やはり結核菌であるが、炭素数 15, 16, 17, 18 の分枝脂肪酸を見だし、炭素数 18 のものが、10-メチルヘプタデカン

日立-パーキンエルマー F-6 (MS 接続)
カラム; ゴーレイカラム 0.25 mm × 45 m
Neopentyl glycol succinate
カラム温度; 170°C 検出器; Total ion monitor
キャリアーガス; He

14-iso: 12-メチルトリデカン酸
15-anteiso: 12-メチルテトラデカン酸
16-n: ヘキサデカン酸
FA-1: 10-メチルペンタデカン酸
FA-2: 10-メチルヘキサデカン酸
FA-3: 10-メチルヘプタデカン酸

(M. Oshima, N. Ueta, T. Yamakawa, *Japan. J. Exptl. Med.*, **39**, 77 (1969) より)

図-1 *Microbispora chromogenes* M-22 の脂肪酸パターン

酸であることを同定した。ただ存在量はきわめてわずかであった。

われわれも、多数の放線菌の脂質を調べているうちに、*Microbispora chromogenes* M-22 という *Streptomyces* に近縁の菌に、飽和脂肪酸、後に述べる *iso*-, *anteiso*-型の分枝脂肪酸とは別に、すくなくも三種の脂肪酸のあることを見いだし、諸種の手続きでそれが 10-メチルヘプタデカン酸、10-メチルヘキサデカン酸、10-メチルペンタデカン酸であることを同定、確認した。それぞれ総脂肪酸の 19%, 5.6%, 2.0% の量があった³⁾。なお、この 10-メチル脂肪酸は不斉炭素を持ちうるが長い炭素鎖の中央近くの不斉炭素の光学活性はきわめて低く、事実上ないに等しい。ツベルクロスステアリン酸も、最初は光学活性がないと記載された。

1.2 *iso*-, *anteiso*-脂肪酸

脂肪酸の ω 端の一つ前、すなわち $\omega-1$ の炭素にメチルの枝別れがついたものを *iso*-脂肪酸、 $\omega-2$ の炭素にメチルの分枝のあるものが *anteiso*-脂肪酸で、自然界にはかなり広範に分布している。多くの場合、この両者は多寡はあるが共存している場合が多い。

炭素数の小さいものではイソバレイアン酸がイルカの貯蔵脂肪や、カノコソウの根に見いだされた。これもごく微量に *anteiso*-脂肪酸を含むことが後に知られた。

ところで、このイソバレイアン酸が、ヒトの特に血液中に増量する病気のあることが、田中⁴⁾らによって発見された。この病気はロイシンの先天性代謝異常で、ロイシンからの中間代謝産物であるイソバレイアン酸が、血液中に 6~33 mg/dl と、正常人の数百倍にも達して、しばしば昏睡におちいるという。しかし症例数は多くはないが家族性の出現を見る。

Weitkamp⁵⁾ は wool fat (羊毛についている分泌脂) から、炭素数が 10 から 28 までの偶数である *iso*-脂肪酸 10 種と、炭素数が 9 から 31 までの奇数で光学活性のある *anteiso* 脂肪酸を取り出した。前者は総脂肪酸の 22%, 後者は 30% にも及ぶ主要成分であった。羊毛脂は皮下脂肪とはまったく異なり皮脂腺より分泌されたものであるが、当然ヒトでも同じ分泌物が考えられる。James と Wheatley⁶⁾ は、ヒトの前腕をエーテルで洗って脂を集めて分析し、総脂肪酸の 12% がこの型の分枝脂肪酸であったと報告している。われわれも試みに、そり集めたひげや、耳あか、いわゆる鼻のあぶらなどの脂肪酸をガスクロマトグラフで分析してみたが、相当量の分枝脂肪酸のあることが確認できた。もちろんこのことは、ヒツジとヒトにのみ特異的なことではなくて、ほかの動物にも見いだされている。

なお、皮脂腺と深い関係のあることであるが、高等動

物の胎児の体表は、いわゆる胎脂 (vernix caseosa) でおおわれている。この胎脂を分析した報文には⁷⁾、総脂肪酸の 60% がこの型の分枝脂肪酸であると記載してある。

さらに皮脂以外にも、動物の皮下脂肪をはじめ諸臓器の脂質中にごく微量の、*iso*-, *anteiso*-脂肪酸があるという。ヒツジの皮下脂肪には微量ながら 12-メチルテトラデカン酸、13-メチルテトラデカン酸、16-メチルヘプタデカン酸などが 0.05% 程度ある⁸⁾。またウシの皮下脂肪、バターなど、またサメ肝油などにも微量成分として確認されている。そのほか、最近のガスクロマトグラフィのデータの中にひん繁に見受けるが、しかしそのあるものは、単に保持時間による類推である場合があり、確実な確認の手続きのできているものと、そうでないものは読み別ける必要があるであろう。

細菌類を見わたすと、*Micrococcaceae* の一群 *Bacillaceae* の一群、そして *Streptomyces* と近縁の一群という、形態的には似つかない三つの群の、構成脂質の主要成分として見いだされる。これらの菌には、飽和酸と *iso*-酸 *anteiso*-酸があり、不飽和酸はたとえあったとしても、ごく微量の成分で、ほとんどないといってよいであろう。炭素数は量的に多いのは 14 から 20 くらいまでで、それ以外のものも検出される⁹⁾。ところで、この三群以外の菌には、普通モノエン酸、シクロプロパン酸、そして 10-メチル脂肪酸があるが、*iso*-, *anteiso*-脂肪酸は見いだせない。

なお、 α 位に水酸基のある *anteiso*-酸が *Streptomyces* の仲間に見いだされている¹⁰⁾。すなわち 2-D-オキシ、12-L-メチルテトラデカン酸である。

2 D-Hydroxy-12 L-methyltetradecanoic acid

iso-, *anteiso*-型でしかも二重結合のある脂肪酸の文献もあるが、どの程度信憑性があるか判断できない。

高等植物ではキンギョソウ (snap dragon) の葉と種子に、一連の *iso*-, *anteiso*-酸があり、最も大量にあるのは 14-メチルヘキサデカン酸であると記載されている¹¹⁾。

1.3 シクロプロパン酸とシクロプロペン酸¹²⁾

前にも述べたように、すべての細菌にはないが、真正細菌に広く分布している。最初腸内細菌に見いだされ *Lactobacillic acid* の名がつけられたが、その構造は、

Lactobacillic acid

(11, 12-Methyleneoctadecanoic acid)

11, 12-メチレンオクタデカン酸、9, 10-メチレンオクタデカン酸が主で、2 炭素少ない 9, 10-メチレンヘキサデカン酸の存在も報告されている。しばしば全脂肪酸

の 40% にも達する場合がある。主としてホスファチジルエタノールアミンの β 位にあることが知られている。シクロプロパン構造の部分はいずれも *cis* 型で微量成分としては炭素数 11 から 19 のものまで報告されている。*protozoa* には炭素数 13, 15, 21 のものがあるという論文もある。

高等植物ではシクロプロペン酸が見いだされて、植物の名がそのまま脂肪酸の名になっている。すなわち、ピンポンアオギリ (*Sterculia*) よりステルクリン酸 (9, 10-メチレンオクタデセン酸), ゼニアオイ (*Malva*) の種子から *Malva seed oil* が得られ、その中に大量の *Malvaric acid* (8, 9-メチレンヘプタデセン酸) がある。

高等動物には普通は見いだされないようである。腸管を通過したシクロプロパン酸が皮下脂肪にたまるという話もないではない。なお、シクロプロパン環を二個またはそれ以上持つ脂肪酸が *mycolic acid* の仲間にあるが、後で触れることにする。

1.4 その他の一個のメチル枝

脂肪酸という概念にややあてはまらないかもしれないが、メバロン酸は 3 の位置に 1 個のメチル枝を持ち、多くの生物体に分布し、しかも重要な代謝中間物である。一応思い出してだけおこう。3-メチル, 3,5-ジオキシペンタン酸とでもいおうか。

ついでに同じ 3-メチルドデカン酸というのが、鯨脳油から得られたという報文もあった¹³⁾。

1.5 2 個以上のメチル枝を持つ分枝脂肪酸

アヒル, ガチョウなどの水鳥は肛門の近くに *preen gland* があり, この分泌物で羽をつくろって, 羽が水にぬれないようにしている。一日に 40 mg も分泌しているというが, この中から, 2,4,6,8-テトラメチルデカン酸, 2,4,6,8-テトラメチルウンデカン酸が大量に得られた¹⁴⁾。また他の報告には炭素数 20 に至るものまであった。さらに羽毛からは 2,4,6-トリメチルや, 2,4,6,8-のいずれかの二つの位置にメチルのあるジメチル分枝

脂肪酸が得られるともいうが¹⁵⁾, いずれにせよ起源は *preen gland* のものであろう。ほとんどオクタデカノールとエステル結合したロウとして得られる。

この *preen gland* の分枝脂肪酸と同じ側鎖配列を持つ炭素数の非常に多い脂肪酸が結核菌にもある。一つは *mycocerosic acid* で Anderson や Asselineau¹⁶⁾ らは, 炭素数が 22, 24, 26, 28, 30, 32 など 2,4,6-トリメチルのもの, また炭素数が 30, 32, 34 で 2,4,6,8-テトラメチルのものを記載している。いずれも光学活性 (左旋性) で, 20~40°C という炭素数の多い飽和酸としてははなはだ低い融点を持っている。ちなみに炭素数 16 の直鎖酸 (パルミチン酸) の融点は 63°C である。

この *mycocerosic acid* に似て, α, β 間に二重結合のはいった脂肪酸が *mycolipenic acid* (*phthienoic acid*) として知られている。このものは右旋性を示す。

さらに自然界を見わたすと, *Streptomyces* の産生する抗生物質の中に多員環ラクトンをアグリコンとするマクロライド抗生物質といわれる一群のものがある。このラクトンを開裂させると, いままでに述べてきた 2,4,6,8-メチル分枝という形の脂肪酸になる。 *pikromycin* (*Str. felleus*), *erythromycin* (*Str. erythreus*), *Methymycin* (*Str. sp*) *oleandomycin* (*Str. antibioticus*), *narbomycin* (*Str. narbonensis*) などがそれで, その 1 例を示せば *erythromycin* のアグリコンは, 2,4,6,8,10,12-ヘキサメチル, 3,5,6,11,12,13-ヘキサオキシ, 9-ケトペンタデカン酸ということになる。この 13 位の水酸基とカルボキシル基でラクトンを形成している¹⁷⁾。

Erythronolide (開裂型)

ところで, 多メチル分枝は, なにも上記の構造に限ったことではない。3,7,11,15-テトラメチルヘキサデカン酸 (*phytanic acid*) が牛乳中に見いだされている。量はバター脂の 0.05% 程度でわずかで, 緑色植物のフィートールに由来したものと考えられている。ふるく Refsum によって記載された, いわゆる Refsum 病では, この *phytanic acid* が, 肝, 腎, 筋肉, 血液に増量することが発見され¹⁸⁾, それが脂肪酸の α 酸化酵素欠損のためであることが, その後に証明された¹⁹⁾。めずらしい蓄積症の一つである。

この phytanic acid よりカルボキシル基側の 1 個短い, 2,6,10,14-テトラメチルペンタデカン酸も, やはりバター中に 0.01% 程度あることが, この領域の長い研究歴を持つ Hansen らによって記載されている²⁰⁾。

1.6 長い分枝を持つ脂肪酸²¹⁾

結核菌より得られた mycolic acid は 2 位に長い側鎖を有し, 3 位に水酸基を持つきわめて炭素数の多い脂肪酸と定義されるが, この定義に合致する脂肪酸は, *Mycobacterium* ばかりではなく, *Corynebacterium* や *Nocardia* などの近縁菌に, つぎつぎに多数見いだされた。これらは分枝脂肪酸としては代表的なものであるが, さりとてこの領域だけで大きな本ができる程の多彩な分野だけに, ここでその全般に筆を及ぼすことは不可能である。幸い, この領域については総説も多く, 詳しくはそれらをご参照願うとして, ここでは前後の関連上, 何種類かのものに目を向けてみよう。

最も簡単な構造のものは corynomycolic acid で, ジフテリア菌から得られた。炭素数は 32 で形の上からはパルミチン酸とパルミチルアルコールがおのおの 2 位でくっついたもので, これがパルミトオレイルアルコールであると, corynomycolenic acid といわれる。

これに対して炭素数の最も多いのは, いわゆる mycolic acid で, 炭素数 86 から 92 程度まで多種類のものが報告され, その構造, 相互の異同等まだ決着のつかないしが多い。しかし最近の分析技術の進歩は, この領域の最終的な合意ができるのも, それ程遠くはないことを示している。それらの多くの構造式の中から一つのをあげておこう。

そして, この二つの大小の mycolic acid の間に, 炭素数が 50 前後で, 二重結合や, 水酸基などを持つ, nocardic acid (nocardomycolic), corynolic acid, diptherocorynic acid, C₆₀-hydroxy acid, hydroxycorynnic acid など, 多種のものが記載されている。

さきにも一寸触れたように, やはりこの仲間でシクロプロパン環を持つものが報告されている。鳥型菌や腐生性の *Mycobacterium* にある。

また, これらの菌にはもう一つカルボキシル基を持ったジカルボン酸型の mycolic acid も報告されている。

2 分枝脂肪酸の生物学的意味

これまで述べてきたような, 多彩な構造の分枝脂肪酸について, 共通する生物学的役割があるはずもない。しかし, それでもいくつかのイメージは浮かんでくる。

第一に, 皮脂腺の分泌物と preen gland の分泌物である。皮脂腺の分泌物は, 皮膚にしなやかさを与え, 毛髪の保護に役だっているであろう。preen gland のそれは, やはり羽毛の保護ということと防水という重要な役割があるのである。両者に共通することは, 酸素と接触する表面に薄く塗布されるという点で, ただちに, 分枝脂肪酸の耐酸化性が思い起こされる。

一般に生体を構成する飽和直鎖酸は常温では固体で硬い。適当量の融点の低い不飽和酸と共存することによって, 生体に適した柔軟さができているものと思われる。しかし, 不飽和酸は, その二重結合またはその隣りの活性メチレンに酸素を吸着し, 小分子に分解したり, 酸素橋を作ってポリマー化したりして, 容易にその物理化学的性質を変えてしまう。要するに酸素と常時接触する部分での寿命は短い。それに対して分枝脂肪酸は酸素によって変質を受ける恐れがないばかりか, その側鎖の効果は飽和でありながら融点を著しく下げ, 不飽和酸に代わって, 柔軟さを保つという役割にはうってつけである。表面塗布剤として実に目的にかなった分枝脂肪酸ではないか。また分枝脂肪酸は直鎖酸と同じ分子量であっても, 直鎖酸よりは大きな空間, 大きな面積を占めることが考えられる。これも, 表面を覆うという役割には合目的であるといえよう。

第二は, 分枝脂肪酸の抗菌性ということであろう。このことは, 非常に古くから多くの研究者がとりくんだ問題で, いろいろな分枝脂肪酸が合成され, その抗菌力が試験され, たとえば 1 個のメチル分枝でも, その位置によって結核菌の増殖を抑制する能力が違い, 5 位にメチルがあるものが, 最も強い抗菌力があることなどがわかった²²⁾。また鎖長も 16, 17 程度が有効であることも報じられた²³⁾。しかし, これも決定的な抗菌力ではなかったためであろう, やがて登場したペニシリンを先頭とする微生物産生性の抗生物質の圧倒的な威力の前に忘れられてしまったが, 先にも見たようにそのような微生物産生の抗生物質の中に, 分枝脂肪酸の構造を発見すると, それがなんらかの役割を果たしている可能性というもの改めて考えてみたくなる。もちろん, それらマクロライド系の抗生物質の作用は主としてタンパク質合成阻害であり, 枝鎖部分の関与をどのように理解するかは, 慎重でなければならないが。

第三に, 結核菌に見られる種々の分枝脂肪酸に関して

も、古くからその生物学的活性が追求された。それらのあるもの、あるいはそれらを含む成分が、生体の組織に一定の組織反応をひき起こさせて、結核独特の病巣を作らせる能力のあることなどがわかったが、その中での分枝鎖の役割は明確ではない。ただそれは、ヒトを初めとする高等動物では、生体内でなかなか処理しきれない、やっかいな構造物であるといえよう。

3 分枝脂肪酸の代謝

3.1 10-メチル脂肪酸とシクロプロパン酸

まずその生合成であるが、分枝部分がメチオニンのメチル基から由来することは、多くの研究によりまったく疑う余地はない。ただそのはいり方に、多くの仮説が出され、今日すでに解決したような、解決していないような何となくもやもやの残る領域である。

ツベルクロスチアリン酸はオレイン酸が前駆体となり、lactobacillic acid は *cis*-vaccenic acid が前駆体となり、その二重結合部分の一方に関与酵素はいり、他の一方で S-adenosylmethionine より活性メチレンを受け、そこからメチル枝なりシクロプロパンができるという Lederer らの仮説²⁴⁾が基本的には信じられているように思う。しかし、まだまだ確実な情報が必要であろう。

われわれの調べた *Microbispora* でも 10-メチルはメチオニンから由来することは確かめられた。しかしこの菌には、メチル基の受容体になるべき不飽和酸がなく、上記の仮説を受け入れるにもいくらかの抵抗がある。*Microbispora* に直鎖の飽和酸を与えても、効率よくメチル脂肪酸に組み込まれてしまうが、その途中で不飽和化の過程があるならば、不飽和化の酵素系を持っているのならば、モノエン酸が検出できても不思議はないように思うが、前記のようにモノエン酸は検出できない。飽和酸に直接メチル側枝のはいる可能性もまったくは否定できないと考える。

一方、シクロプロパン酸の分解であるが、動物の消化管に投与した例²⁵⁾、肝ミトコンドリアとインキュベート

図-2 10-メチル枝とシクロプロパン酸の合成

した例でも²⁵⁾、 β 酸化はシクロプロパン環の手前で終わって、*cis*-9, 10-オクタデカン酸を用いると、*cis*-3, 4-メチレンドデカン酸が蓄積し、それ以上処理されずに残る。メチレンを標識した実験でも高等動物では、このメチレンは酸化されなかった²⁶⁾。

このシクロプロパン酸で ω 酸化が起こるという文献は見なかったが、 ω 酸化が起こってもよさそうである。たとえば、2-メチル-1-¹⁴C ステアリン酸をラットに与えた実験では ¹⁴C の約 20% は ¹⁴CO₂ として呼出されるが、尿と尿に約 20% の放射活性が排出され、尿中から 2-メチルアジピン酸が証明され、 ω 酸化が進行したことが証明された²⁷⁾。 β 位の側枝による β 酸化の阻止 (β -block) はしばしばいわれるが、 α 位の側枝も ω 酸化をひき起こす原因となりうる^{28), 29)}。しかしメチル側鎖 1 個の脂肪酸を与えた実験では、最終的にメチル側鎖も処理されて、尿中にジカルボン酸の証明できないことが多い³⁰⁾。

3.2 *iso*-, *anteiso*-脂肪酸

この分枝が、バリン、ロイシン、イソロイシンの分枝アミノ酸に由来することは明らかで、これらアミノ酸はまず脱アミノを受けて相当する短鎖の分枝カルボン酸 CoA エステル、または ACP (acyl carrier protein) エステルとなって、ついで malonyl CoA との縮合反応を繰り返して直鎖部分を作る。であるから、天然の *iso*-酸は炭素数が偶奇両方あるが、*anteiso*-酸は奇数酸しかない。

分解は β 酸化が問題なく進行するし、 ω 端の分枝も、前に述べたアミノ酸代謝の異常でもない限り、容易に処理される。大量にラットに投与しても、貯蔵脂肪中には見られなかったという報告がある³¹⁾。

3.3 2,4,6,8-メチル脂肪酸と 3,7,11,15-メチル脂肪酸

この群の脂肪酸の枝は、プロピオン酸の付加によることが知られている。抗生物質のアグリコンも例外ではなく、たとえば erythromycin のそれは 7 個のプロ

図-3 C₃₂-Mycocerosic acid

ロピオン酸から作られることが証明された。

3,7,11,15-メチル脂肪酸の分解は、まず α 位の水酸化、ついで脱水素による α -ケト酸、さらに酸化的脱カルボキシルで、メチル側鎖の位置が 2, 6, 10, 14 となり、次は通常の β 酸化でプロピオン酸と酢酸が交

示したとしても、基本構造にかかわるような構成成分がまったく異なっていれば、そこには進化論的な類縁関係を認めるべきではないであろう。進化論的な類縁関係に立脚する分類では、基本的構成成分に関する、いわゆる chemotype が行なわれるべきであろう。

細菌の一番ふるい型として、原始球菌というものの存在が仮定されている。原始球菌に最も近いのが、小型の球菌である *Micrococcus* 科の菌であるという証拠は何もないが、非常にふるい時期に *iso*-, *anteiso*-型の脂肪酸を持つ *Micrococcus* が出現し、現在では間をつなぐ連鎖は消滅してしまったのかもしれないが、*Bacillus* として複雑多岐な形態をとる *Streptomyces* へと進化してきたのではないかという気がする。そして、いずれかの時点で、不飽和脂肪酸を持つ菌群が発生し、それぞれ幾つかの方向に進化をつづけ、その中で非常に高級な分枝酸を作りうる *Corinebacteria* から *Mycobacteria* *Nocardia* に至る一つの系列が確立したのではあるまいか。*iso*-, *anteiso*-脂肪酸と不飽和脂肪酸と、進化論的な意味でどちらがよりふるい化合物であるかは、議論をつきつめてゆけば、なんらかの手掛りを得ることができると思うが、また、別の機会にゆずりたい。

おわりに

結局、とりとめもなく、分枝脂肪酸のことを総花的にならべただけになってしまったが、自然界にはまったく複雑な構造物が何と多いことか。そして、われわれは自然から学ぶことが何と多いことか。たとえば、耐酸化性のあるオイルの開発、それが合成分枝脂肪酸を含むものであることは、*preen gland* の例を見てもはなはだ目的にかなったものといえよう。しかし心せねばなるまい。複雑多岐な分枝酸の処理に生物体が手を焼くことも。耐酸化性ゆえにそれらの合成分枝酸がわれわれをとりまき、それがわれわれの体内に進入するならば、われわれの体は、また新たな公害に悩まされることを。やはり自然から学ぶことはまだまだ多い。

御校聞いただいた山川民夫教授に深謝する。

(昭和 46 年 5 月 20 日受理)

文 献

この領域にはすぐれた総説がある。それにとらわれることを恐れて今回は直接参考にしなかったが、必要があれば次のものをご参照願いたい。

- F.B., Shorland, *Australian J. Sci.*, **19**, 1 (1956)
 L. Hartman, *J. Am. Oil Chemists' Soc.*, **34**, 129 (1957)
 E. Lederer, *Angew. Chem.*, **72**, 372 (1960)
 次のものは、いろいろな意味で参考にさせてもらった。
 S., Abrahamsson, S. Stållberg-Stenhagen, E. Stenhagen, "Progress in the Chemistry of Fats and Other Lipids" Vol. 7 Pt. 1 (1963) Pergamon press
 J. Asselineau "The Bacterial Lipids" (1966) Hermann, Paris

浅野 実験医学雑誌, **27**, 1114 (1943)

- 1) J. Anderson, E. Chargaff, *J. Biol. Chem.*, **85**, 77 (1929)
- 2) C.L. Agre, J. Cason, *J. Biol. Chem.*, **234**, 2555 (1959)
- 3) M. Oshima, N. Ueta, T. Yamakawa, *Japan J. Exptl. Med.*, **39**, 77 (1969)
- 4) K. Tanaka, M.A. Budo, M.L. Efron, K.J. Isselbacher, *Proc. Natl. Acad. Sci.*, **56**, 236 (1966)
- 5) A.M. Weitkamp, *J. Am. Chem. Soc.*, **67**, 447 (1949)
- 6) A.T. James, V.R. Wheatley, *Biochem. J.*, **63**, 269 (1956)
- 7) N. Nicolaides, T. Ray, *J. Am. Oil Chemists' Soc.*, **42**, 702 (1965)
- 8) R.P. Hansen, F.B. Shorland, N.J. Cooke, *Biochem. J.*, **64**, 214 (1956)
- 9) N. Ueta, I. Ishizuka, T. Yamakawa "Proceedings of the First International Conference on Culture Collections" p. 371 (1970), Univ. of Tokyo Press
- 10) M.A. Lanée, *Experimentia*, **24**, 541 (1968)
- 11) A. Radunz, *Z. Physiol. Chem.*, **341**, 192 (1965)
- 12) W.W. Christie "Topics in Lipid Chemistry" Vol. 1 p. 1 (1970) Logos Press.
- 13) P.K. Christensen, R.A. Gehe, *Act. Chem. Scand.*, **19**, 1153 (1965)
- 14) K.E. Murray, *Aust. J. Chem.*, **15**, 510 (1962)
- 15) G. Opham, *Ark. Kemi.*, **27**, 263 (1967)
- 16) C. Asselineau, J. Asselineau, R. Ryhage, S. Stenhagen, E. Stenhagen, *Acta Chem. Scand.*, **13**, 822 (1959)
- 17) 田中, 中村 "抗生物質大要" p. 97 (1967) 東大出版会
- 18) E. Klenk, W. Kahlke, *Z. Physiol. Chem.*, **333**, 133 (1963)
- 19) D. Steinberg, J.H. Herndon Jr., B.W. Uhlendorf, C.E. Mize, J. Avigan, G.W.A. Milne, *Science*, **156**, 1740 (1967)
- 20) R.P. Hansen, J.D. Morrison, *Biochem. J.*, **93**, 225 (1964)
- 21) J. Asselineau "The Bacterial Lipids" (1966) Hermann, Paris
- 22) G. Weitzel, *Z. Physiol. Chem.*, **288**, 174 (1951)
- 23) 浅野, 山川 薬学雑誌, **70**, 474 (1950)
- 24) E. Lederer, *Biochem. J.*, **93**, 449 (1964)
- 25) R. Wood, R. Reiser, *J. Am. Oil Chemists' Soc.*, **42**, 315 (1965)
- 26) A.E. Chung, *Biochim. Biophys. Acta*, **116**, 205 (1966)
- 27) N. Tryding "Progress in the Chemistry of Fats and Other Lipids" Vol. VII Pt. 1, p. 145 (1963) Pergamon Press
- 28) M. Asano, T. Yamakawa, *J. Biochem.*, **37**, 329 (1950)
- 29) T. Yamakawa, *J. Biochem.*, **37**, 343 (1950)
- 30) G. Weitzel, *Z. Physiol. Chem.*, **287**, 254 (1951)
- 31) T. Gerson, F.B. Shorland Y. Adams, M.E. Bell, *Biochem. J.*, **73**, 594 (1959)
- 32) W.E. Davis, A.K. Hajra, S.S. Parmar, N.S. Radin, J.F. Mead, *J. Lipid Res.*, **7**, 270 (1966)
- 33) J. Asselineau "The Bacterial Lipids" p. 148 (1966) Hermann Paris
- 34) A.H. Etémedi, E. Lederer, *Biochim. Biophys. Acta.*, **98**, 160 (1965)
- 35) Y. Okami, M. Hamada, N. Ueta "Proceedings of the First International Conference on Culture Collections" p. 457 (1970) Univ. of Tokyo Press