



Title	ペプチド抗生物質ツベラクチノマイシンおよびカプレオマイシンの構造：活性相関に関する合成的研究
Author(s)	野本, 信也
Citation	大阪大学, 1979, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/24461
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

ペプチド抗生物質ツベラクチマイシン
およびカプレオマイシンの構造-活性相関
に関する合成的研究

野 本 信 也

目次

第1章	序論	1
第2章	ツベラクチンマイシン群新抗生物質LL-BM547βの構成アミノ酸N ⁶ -メチル-L-β-アルギニンの合成	5
第3章	ツベラクチンマイシンの抗菌作用におけるβ-ウレイドデヒドロアラニン残基の意義	9
3-1	ウレイド交換反応によるウレイド置換ツベラクチンマイシンNの調製	10
3-2	ウレイド置換ツベラクチンマイシンN誘導体の抗菌作用についての考察	17
3-3	ウレイド交換反応による[¹⁴ C]ウレイドデヒドロアラニン-ツベラクチンマイシンOの調製	18
3-4	[ΔAla ⁵]-ツベラクチンマイシンOの合成の試み	20
第4章	ツベラクチンマイシンの抗菌作用における環状グアニジン基の意義	25
4-1	[Arg ⁶]-ツベラクチンマイシンOの合成	26
4-2	[Gala ⁶]-ツベラクチンマイシンOの合成	29
4-3	[Arg ⁶]-及び[Gala ⁶]-ツベラクチンマイシンOの抗菌作用についての考察	33
第5章	抗生物質カプロオマイシンの構造決定と全合成並びにカプロオマイシン類似体の合成とその抗菌作用	37
5-1	カプロオマイシンの構造決定	37
5-1-1	カプロオマイシンIAとIBの分離	38
5-1-2	カプロオマイシンの物理化学的性質とアミノ酸組成	38
5-1-3	カプロオマイシンの環状ペントペプチド部の構造	41
5-1-4	側鎖β-リジンの結合位置——カプロオマイシンの全構造	46
5-2	カプロオマイシンIA及びIBの全合成	50
5-2-1	保護環状ペントペプチド部分の合成	51
5-2-2	側鎖アミノ酸の導入	53
5-3	カプロオマイシンの構造類似体の合成	61

5-3-1	カプロオマイシンIIA及びIBの合成	62
5-3-2	アソイドカプロオマイシンIBの合成	63
5-3-3	リボースカプロオマイシンIIB及び[Orn ⁴]-カプロオマイシンIIBの合成	63
5-3-4	ジ- β -Lys-カプロオマイシンIIBの合成	63
5-4	カプロオマイシン並びにその構造類似体の抗菌作用についての考察	72
第6章	α, β -ジアミノプロピオン酸のHofmann分解を利用するデヒドロアラニンペプチドの新合成法	74
	実験の部	80
	Abbreviations	98
	References	99

第1章 序論

抗結核剤として実用に供されている抗生物質のうちペプトイド構造を有するものとしては、カプレオマイシン¹⁾(Capreomycin)、バイオマイシン²⁾(Viomycin)およびツベラクチノマイシン³⁾(Tuberactinomycin)の3種類が知られている。これらはいずれも異なる時期に放線菌(*Streptomyces*)の異なる菌種から見い出された化合物であるが、化学的性質のみならず抗菌活性の点でも極めて類似している。その構造研究は主にバイオマイシンを対象として、古くからいくつかのグループにより進められていたが、1971年芝、若宮らが初めてツベラクチノマイシンOの構造を化学的手法並びにX線解析により決定し、続いてこの結果に基づいて、ツベラクチノマイシンの他の同属体A、B、Nの構造式をも提出した⁴⁾(Fig. 1-1)。このうちツベラクチノマイシンBは、バイオマイシンと同一物質であることが彼らにより明らかにされたが、このバイオマイシンに対する新しい推定構造式はBycroftらが行ったX線解析の結果からも裏づけられた⁵⁾。最後に残されたカプレオマイシンの構造に関しては、後述するように、著者が本研究の一環として、化学分解並びにNMRスペクトルの解析の結果から決定し⁶⁾、さらにカプレオマイシンIA、IBを全合成することにより確立した⁷⁾(Fig. 1-2)。Fig. 1-1と1-2から明らかなように、これら3種の抗生物質は全てに共通の構造すなわち分枝した環状ペントペプトド骨格を有することから、ひとつの化合物群を構成しているとみなすことができる。

この一群の抗生物質は、通常の抗生物質において一般的に見られるように、多くの異常アミノ酸を構成成分として含んでいる。即ちグアニジノアミノ酸であるツベラクチジン⁸⁾及びカプレオマイシジン⁹⁾、側鎖アミノ酸のβ-リジン¹⁰⁾及びγ-ヒドロキシ-β-リジン¹¹⁾、α,β-ジアミノプロピオン酸としてα位に二重結合を有するβ-ウレイドデヒドロアラニン¹²⁾がそれである。これらアミノ酸は、ツベラクチジンを除きすべて、主として芝研究室においてすでに合成されている。

さらにこの抗生物質群のうちツベラクチノマイシンOそのものは芝研究室において全合成が完成している¹³⁾。まず若宮らはツベラクチノマイシンNの側鎖アミノ酸γ-ヒドロキシ-β-リジンを選択的に切断除去した後の分枝部分を欠く環状ペントペプトド部分を単離して、これをツベラクチナミンN(Tuberactinamine N)と命名した。さらにその側鎖部分に改めてβ-リジンを導入し、ツ

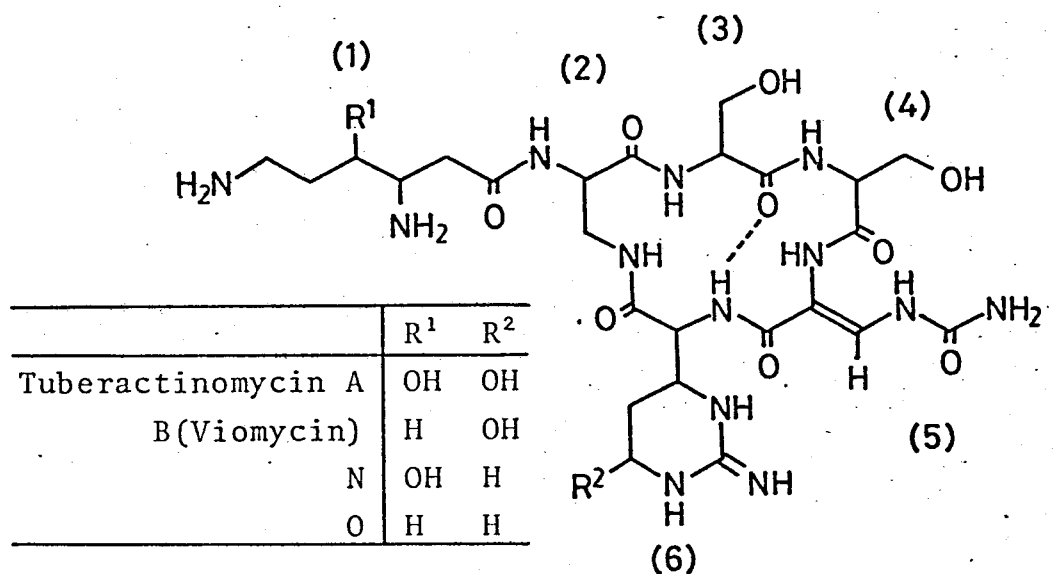


Fig.1-1

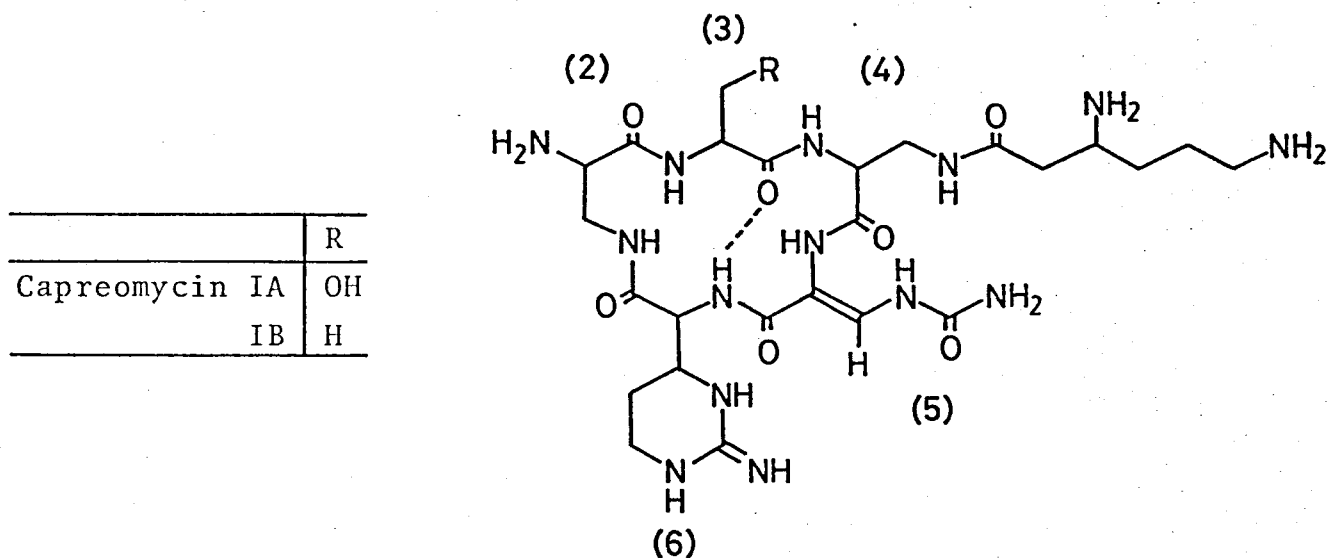


Fig.1-2

ベラクテノマイシンOへ導いた¹⁴⁾。即ちこのことによつてツベラクテノマイシンNからOへの化学的変換に成功した。この変換反応の発見はツベラクテノマイシンOの全合成の計画にも生かされ、まずツベラクテナミンNを合成し、次いで側鎖β-リジンとこれに縮合してその全合成が完成したのである。

抗生物質のみならず天然由来の生理活性物質は一般に、その活性を最大限に発揮する為に必要かつ十分な化学構造を有しているとは限らないと考えられる。そこでまず活性を発現するに必要な最小構造部分即ち活性部位を究明し、この部分を根拠として元の天然物よりさらに強い生理活性を示す構造類似体の開発を目的とした合成研究が様々な種類の化合物に関して盛んに行なわれている。本研究室においてもツベラクテノマイシンの構造解明と全合成

が終った段階で次に構造と生理活性の相関関係を解明する研究が開始された。

まず豊島、若宮らは分枝部分の構造と抗菌力の関係を明らかにする為、ツベラクテリノミンNの側鎖部分に種々の脂肪酸、アミノ酸、ペプチド等を導入する半合成的研究を行なった。⁽¹⁵⁾ この研究で100種近くの半合成ツベラクテリノマイシンが調製されたが、これらの抗菌力を比較した結果、強かな抗菌力が発現される為の条件として、側鎖アミノ酸のβ-アミノ基が遊離であること、並びにそれより炭素鎖をへだてた位置に第2のアミノ基が存在することなどが結論された。

次にツベラクテリノマイシン分子中の2個のセリン残基の水酸基が活性発現に果たす役割を調べる為に[Ala⁴]-、[Ala³]-及び[Ala³, Ala⁴]-ツベラクテリノマイシンO (Fig. 1-3) が全合成された。⁽¹⁶⁾ このうち前二者及び後者の一部の合成は著者が修士課程において行なったものである。それらはいずれも天然ツベラクテリノマイシンOと同程度の抗菌力を示したが、上記の順序で活性がやや低下する傾向が認められた。この結果から、第4番目のセリン残基の水酸基は第3番目のそれに比べて活性を増加させる働きが大きいと結論された。またこれとは別にアミノ配糖体群抗生物質の一部において分子中の水酸基が耐性病原菌体内で修飾を受けることにより元の抗菌作用が消失するという菌の耐性獲得機構が知られているが、ツベラクテリノマイシンにおいては、耐性結核菌に対する抗菌作用の点で上記の種の構造類似体は天然ツベラクテリノマイシンとの差が全く見い出せずこれら両水酸基は耐性機構に直接関係していないことが明らかにされた。

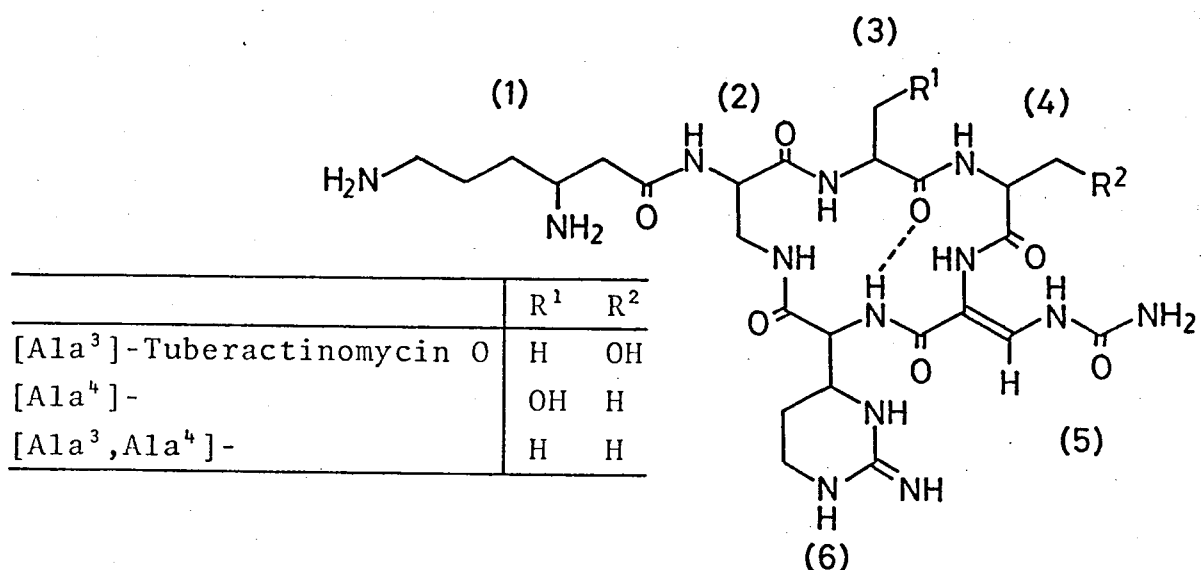


Fig. 1-3

以上のようにツベラクテノマイシンにおけるいくつかの官能基が活性発現において果たす役割は部分的に明らかにされていたが、この分子中の最も特異なアミノ酸残基即ちβ-ウレイドデヒドロアラニン並びに環状グアニジノアミノ酸、カプロオマイシジン又はツベラクテジンの存在意義についてはほとんど知られていなかった。そこで著者はこの抗生物質群の構造と生理活性の関係をより深く追求すべく本研究を開始した。

まず第2章では最近発見されたツベラクテノマイシン類似の新抗生物質、LL-BM547¹⁷⁾の側鎖部分に存在する新アミノ酸N^β-メチル-L-β-アルギニンの合成について述べる¹⁸⁾。さらにこの合成法を応用してグアニジノ基を有する天然β-アミノ酸であるグラスチジン酸の合成を行った結果について触れる。次に第3章で前述のβ-ウレイドデヒドロアラニン残基を修飾した構造類似体の合成結果を述べ、第4章では全合成的手法によりグアニジノアミノ酸部を変化させた構造類似体の合成を述べ、これらの結果を基にして、この抗生物質群の活性部位について論じる。なお第3章では同時にβ-ウレイドデヒドロアラニンをデヒドロアラニン(ΔAla)に置き換えた(ΔAla⁵)-ツベラクテノマイシン0の全合成も試みた。このものの合成は完成していないが、その研究途上、ジアミノプロピオン酸のHofmann分解を利用するデヒドロアラニンの新合成法を確立することができたので第6章でこの新合成の詳細並びにこの方法を用いた各種のデヒドロアラニンペプチドの合成について述べる。

最後に第5章においてはツベラクテノマイシンに類似する抗生物質カプロオマイシンIA、IBの構造について従来の推定構造の誤りを指摘し、全合成により新構造式を確立した経緯について述べ、さらに数種の構造類似体の合成結果からカプロオマイシンにおける構造-活性相関について論じる。

CNC(=N)NCCC(NC)CC(=O)NCC(=O)N[C@@H](CO)[C@H]1C(=O)N[C@@H](CO)C(=O)N[C@@H](C(=O)N[C@@H](C(=O)N[C@@H](C(=O)N)C(=O)N)C(=O)N)C(=O)N1

Fig. 2-1

このアミノ酸(2-1)の合成に当っては、 α , γ -ジアミノ酪酸より出発して、Fig.2-2に示すように α -アミノ基をトシル化した後メチル化し、次いでArndt-Eistert反応による炭素鎖の延長、最後に ω -アミノ基のグアニジノ化を行なう経路が適当であると考えられる。これらの反応を行なう際、その順序には特に注意を要する。即ちArndt-Eistert反応の中間体である混合酸無水物はトシルアミノ基並びにグアニジノ基と反応して副生物を生じることが知られている為、トシルアミノ基のメチル化はArndt-Eistert反応以前に、またグアニジノ化はそれ以後に行なわねばならない。

実際の合成経路を Fig. 2-3 に示した。出発原料である L- α , γ -ジアミノ酪氨酸は文献に従ってシル- γ -グルタミンの γ -アミドを Hofmann 転位して α -アミノ基

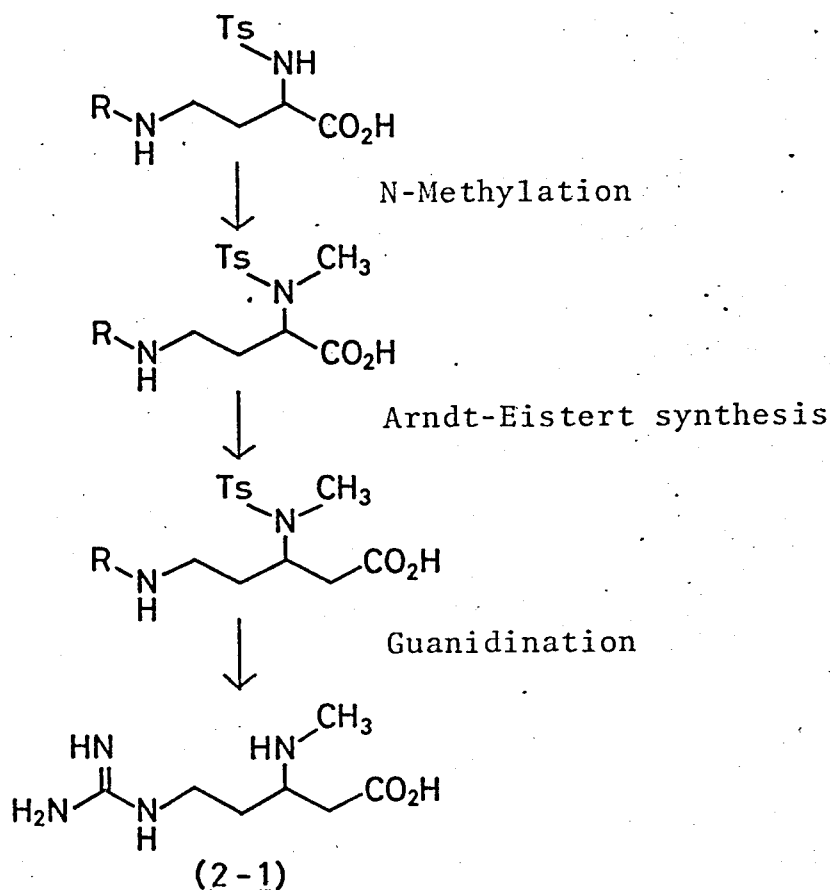


Fig. 2-2

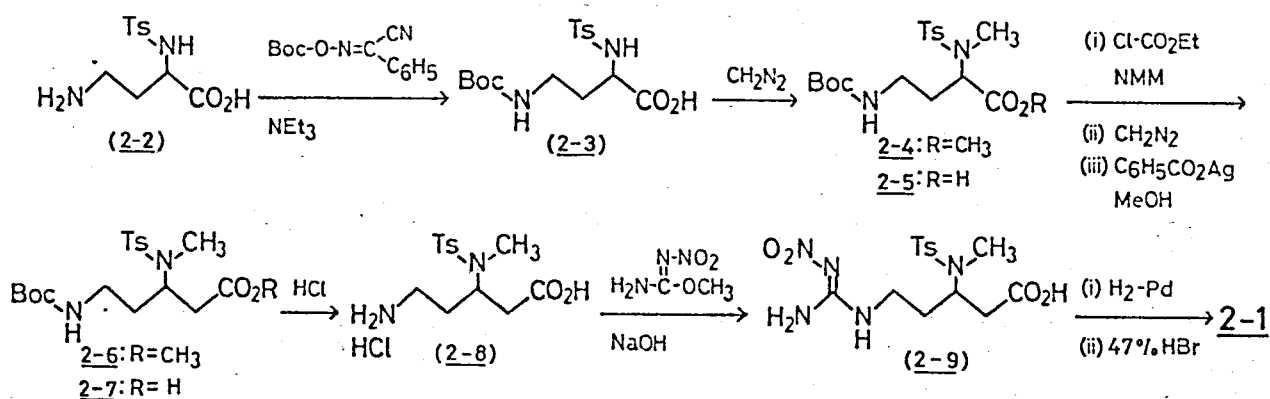


Fig. 2-3

に変換して調製した。¹⁹⁾ このα-アミノ基をセブトキシカルボニル化してN^αとN^γを選択保護してα-トシル-γ-セブトキシカルボニル体2-3とした。次にトシルアミノ基のメチル化に関する従来法は水酸化ナトリウム水溶液中ヨウ化メチルと長時間反応させるもので若干のラセミ化が伴うことが知られている。著者はこのラセミ化を抑える為により穏和なメチル化法を検討していた。その結果トシルアミノ基は低温でジアゾメタンによりメチル化されることを初めて見出した。しかしながらこの方法ではβ-炭素に枝分かれのあるアミノ酸及びα-アミノ基以外のアミノ基はメチル化の速度が非常に遅いことが明ら

かになったが従来法よりラセミ化を起しにくい上に操作が簡便であるので種々のN-メチルアミノ酸の一般的な調製法として利用できると思われる。化合物 2-3 をジアゾメタンと0℃で一夜反応させα-アミノ基のみを選択的にメチル化して 2-4 を得た。2-4 をケン化した後、混合酸無水物法を用いるArndt-Eistert 反応¹⁰⁾により炭素鎖を延長して化合物 2-6 へ導いた。次にメチルエステルをケン化により、またα-キシカルボニル基をTHF中塩化水素により切断して化合物 2-8 とし、末端アミノ基をニトログアニジノ化してNB-メチルβ-アルギニン骨格を持つ化合物 2-9 を高収率で得た。

化合物 2-9 を酢酸中接触還元してニトロ基を除去し、続いて47%臭化水素酸中、3時間煮沸してトシル基を切断した。この粗生成物をAmberlite IRC 120 カラムクロマトグラフィーで精製するとTLCで単一のスポットを示す油状物が得られた。このものはN-メチルアミノ酸に特有な弱いニンヒドリン反応及びグアニジノ基に特有な坂口染色をそれぞれ示した。結晶性フラビアン酸塩としての元素分析値もその構造を支持している。

このようにして得られた合成品の塩酸塩は天然物とよく一致する比旋光度及びNMRスペクトル(Fig. 2-4)を与えた。従ってこの合成により McGahren の

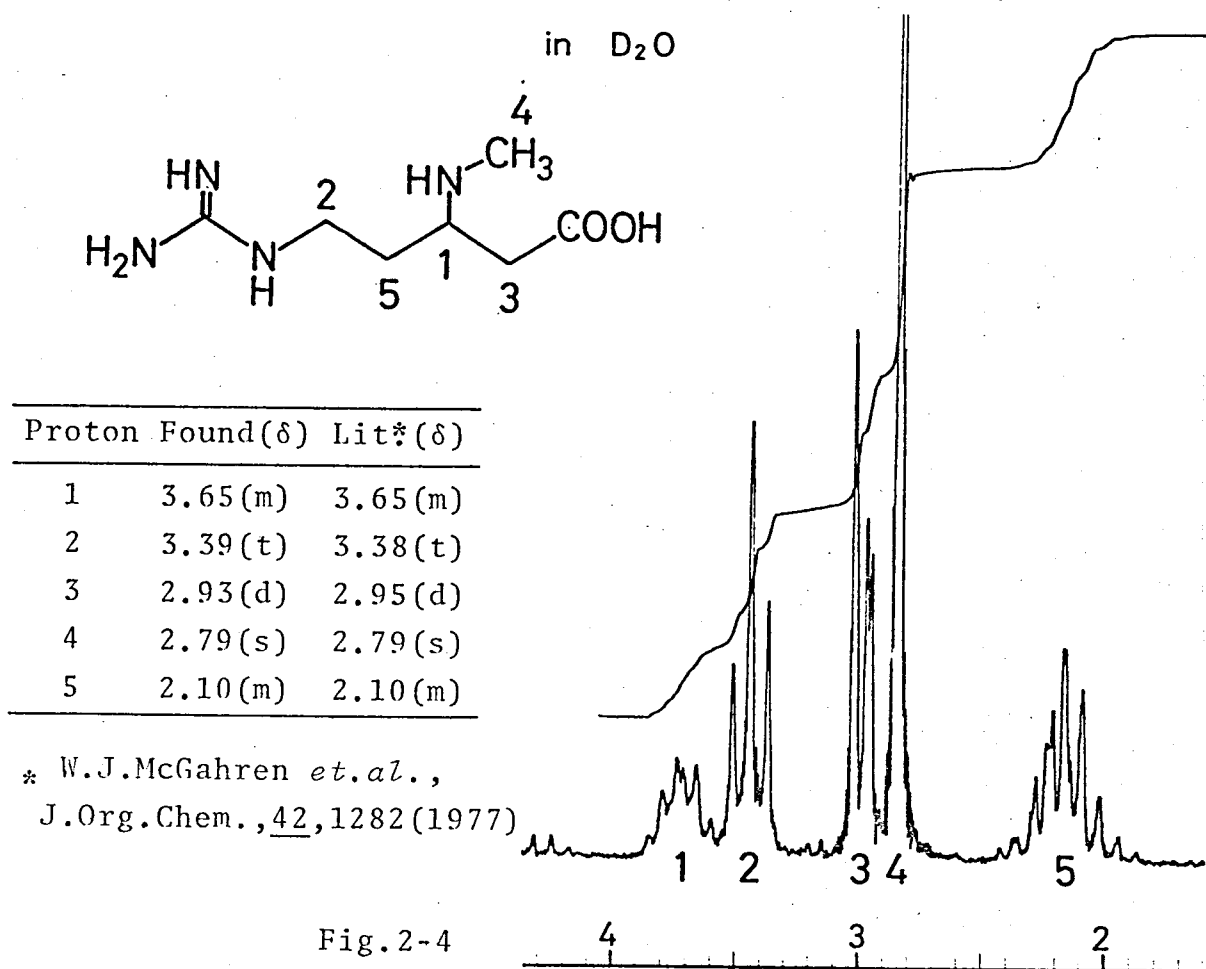


Fig. 2-4

推定した構造式が確認されたことになる。

さらにここで行った合成経路は一般性のあるもので、例えばブラスチジン²⁰⁾酸又はステンドマイシジン²¹⁾のような他の *N*-ナチル-グアニジノ-β-アミノ酸の合成に応用することも可能である。実際に著者は上に述べた合成経路を応用して天然農薬ブラスチジン S (Blasticidin S) の構成アミノ酸であるブラスチジン酸を Fig. 2-5 に示したように初めて合成した。

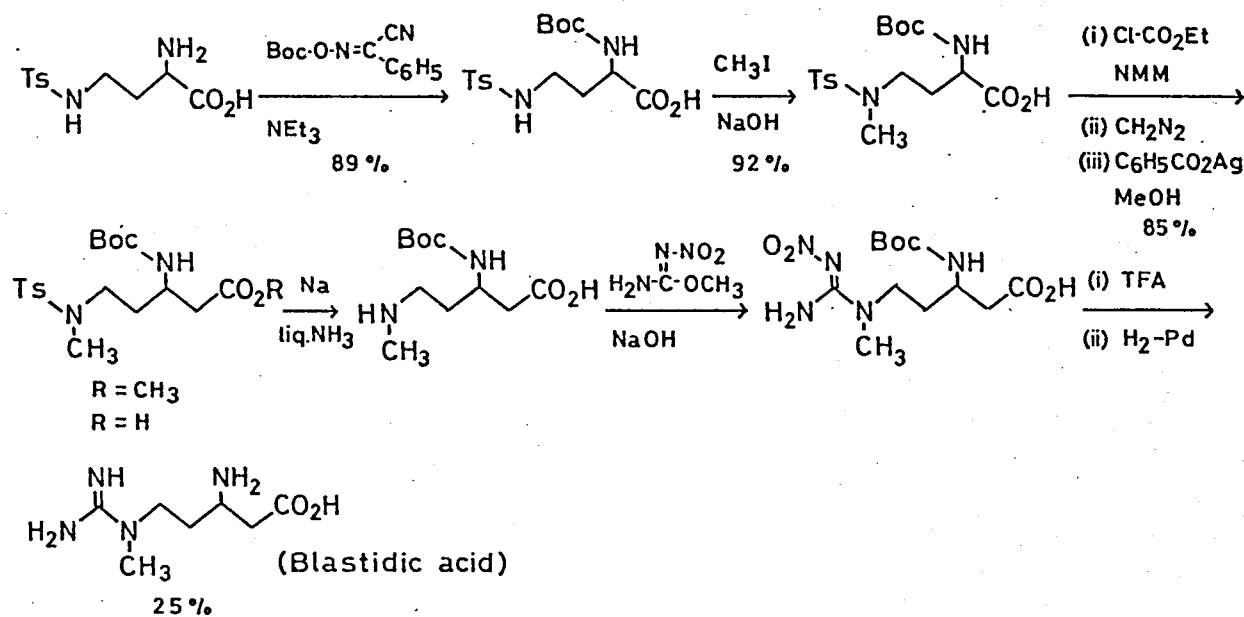


Fig. 2-5

第3章 ツベラクチノマイシンの抗菌作用におけるβ-ウレイドデヒドロアラニン残基の意義

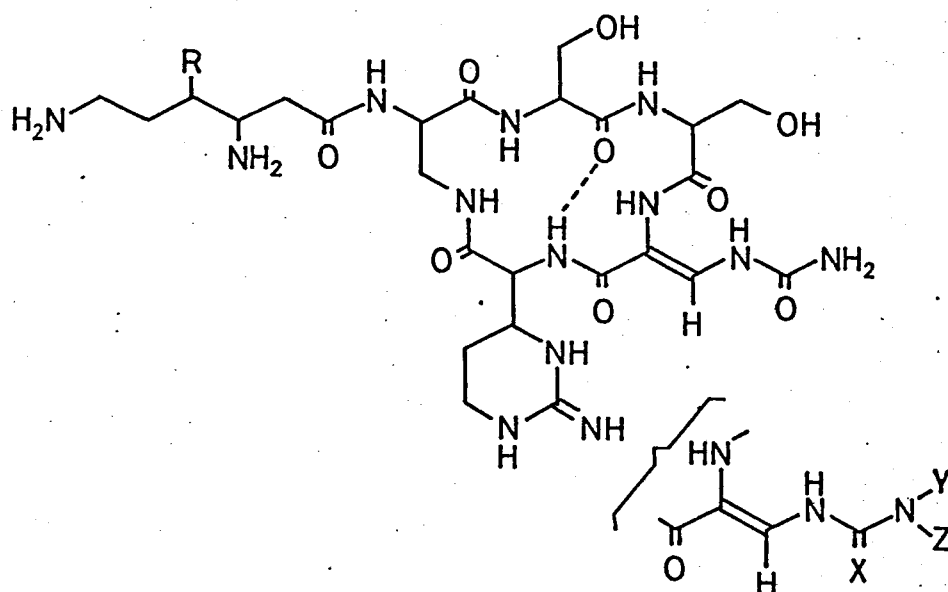
第5番目のアミノ酸残基であるβ-ウレイドデヒドロアラニンは、この抗生物質群にしか見られない特徴的な部分構造である。とりわけ炭素-炭素二重結合がもたらすこのアミノ酸の平面性並びに特異なウレイド基が生理活性の発現においてどのような意義をもつのかということは注目し得る問題である。豊島らはツベラクチノマイシンを還元してβ-ウレイドデヒドロアラニン残基がβ-ウレイドアラニン(Ual)に変化した誘導体及びウレイド基が切断除去されてアラニン残基に変化した誘導体を調製し、その抗菌作用を測定している^{15b)}(Table 3-1)。この実験結果並びにこれらの誘導体は天然物と異なるイソホモーションを持つという事実を考えると、β-ウレイドデヒドロアラニン残基の炭素-炭素二重結合はツベラクチノマイシンが高活性を示すのに必要なイソホモーションを維持する役割は有しているといえ、そのイソホモーションについてはこの二重結合そのものの存在は活性発現の為に不可欠な要素ではないことが結論される。さらに[Ala⁵]体は[Ual⁵]体より低いながらも若干の活性を維持していることから、ウレイド基の存在も活性発現の為に必須ではなくただ活性を増大する働きを有するにすぎないと推測することができる。

Table 3-1. Minimum inhibitory concentrations (mcg/ml)^{a)} of [Ala⁵]- and [Ual⁵]-tuberactinomycins

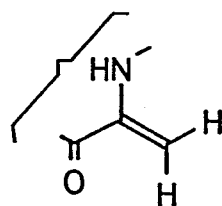
	[Ala ⁵]-derivative	[Ual ⁵]-derivative
Tuberactinamine N	>100	25
Tuberactinomycin A	50	50
B	50	50
N	100	12.5
O	100	50

a) Against *Mycobacterium* ATCC 607.

しかし上に述べた両誘導体の抗菌性はかなり低活性であったので、このような低活性が混在する不純物などの予期せぬ原因に由来する可能性も否定できないと考えられたので、着者は上に述べた結論をさらに確実なものにする為に、β-ウレイドデヒドロアラニン部に関する新たな種類の構造類似体を調製しその抗菌性を調べる計画を立てた。即ちβ-ウレイドデヒドロアラニン残



	X	Y	Z	R
[N'-MethylUda ⁵]-Tuberactinomycin N(<u>3-1</u>)	O	Me	H	OH
[N,N'-DimethylUda ⁵]-(<u>3-2</u>)	O	Me	Me	OH
[ThioUda ⁵]-(<u>3-3</u>)	S	H	H	OH



[ΔAla⁵]-Tuberactinomycin O (3-4) (R=H)

Fig. 3-1

基の二重結合を残したままウレイド基のみを修飾した誘導体〔N'-メチルウレイドデヒドロアラニン⁵〕-(3-1)、〔N',N'-ジメチルウレイドデヒドロアラニン⁵〕-(3-2)、及び〔チオウレイドデヒドロアラニン⁵〕-ツベラクチノマイシンN(3-3) (Fig. 3-1)を調製し、これらの置換基が抗菌作用に及ぼす影響を調べた。²²⁾

さらにウレイド基の存在意義も直接調べる為にβ-ウレイドデヒドロアラニン残基のウレイド基を取り除きデヒドロアラニン(ΔAla)残基とした〔ΔAla⁵〕-ツベラクチノマイシンO(3-4) (Fig. 3-1)の全合成を試みた。この合成は完成していないが、その研究途上、従来合成の困難であったデヒドロアラニンペプチドの新合成法も確立した。これに関しては第6章で述べる。

3-1 ウレイド交換反応によるウレイド置換ツベラクチノマイシンN誘導体の調製

若宮らはツベラクチノマイシンNを酸処理して側鎖のヒドロキシ-β-リジンもラクトンとして選択的に切断除去する際、β-ウレイドデヒドロアラニン残基が著しく分解すること認め、大量の尿素を添加するとこの分解反応を効果的に抑制できることを見出した。この時尿素はFig.3-2に示した平衡反応を左へずらす働きをすると推定している¹⁴⁾。もしこのような平衡の存在が事実であるならば、ツベラクチノマイシンを酸性溶液中で尿素誘導体と処理すればこれがもとの尿素構造と置換して導入され、ツベラクチノマイシンの新誘導体が容易に得られると考えた。4種のツベラクチノマイシン同属体のうち実用化され最も大量に入手しやすいツベラクチノマイシンNを用いてこのウレイド交換反応を試みた。

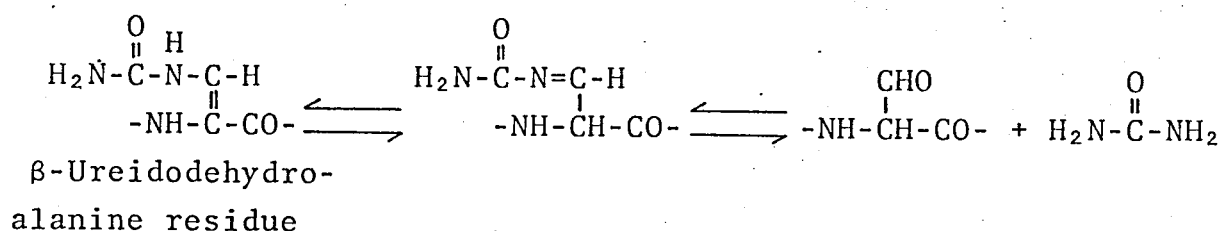


Fig.3-2

まず上で述べた側鎖の切断を起こさず意図するウレイド交換反応を進行させる条件を捜す為の予備実験としてツベラクチノマイシンNをN-メチル尿素の存在下に異なる濃度の塩酸処理を行ない、反応の経過をTLC(フェノール-水-濃アンモニア水、30:10:1)で追跡した。この結果、1N以下の塩酸では原料はほとんど変化せず、また6N以上の濃度ではヒドロキシ-β-リジンラクトンの生成が著しいのに対し、3N塩酸中での反応において約30日後に原料は新たな単一の生成物に変換されたことを認めた。この生成物は後に述べる方法で単離してNMRスペクトルを測定した結果、目的とする[N'-メチルウレイドデヒドロアラニン⁵⁾]-ツベラクチノマイシンNであることが判明した。

以上の予備実験の結果によってツベラクチノマイシンNのウレイド基は容易に置換ウレイド基に変換し得ることがわかったので、N'-メチルウレイド体(3-1)の他にN',N'-ジメチルウレイド体(3-2)及びチオウレイド体(3-3)を調製した。まずツベラクチノマイシンN・3塩酸塩(1.00g)を3N塩酸(10ml)中尿素誘導体(N-メチル尿素、N,N'-ジメチル尿素又はチオ尿素、4.00g)と室温で30日間反応させた。この反応混合物をAmberlite IRC50(NH₄型、酢酸アンモニウム緩衝液溶出)カラムクロマトグラフィーで精製した後、目

的物を含むフラクションを Amberlite IRC-50 (ピリジン型、1N 酢酸で洗脱) カラムで脱塩して、3種のツベラクチンマイシン N 誘導体もそれぞれ純粋に得ることができた (Fig. 3-3)。

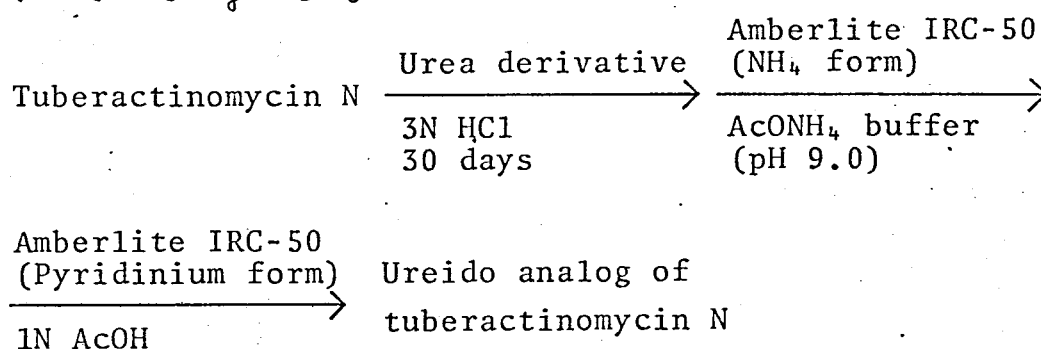


Fig. 3-3

Table 3-2. Physicochemical properties of the compounds 3-1, 3-2 and 3-3

	<u>3-1</u> (3HCl)	<u>3-2</u> ^{a)} (3HCl)	<u>3-3</u> (3AcOH)
Yield(%)	75	64	77
R _f ^{b)}	0.27	0.36	0.22
R _f ^{c)}	0.54	0.52, 0.55	0.61
m.p. (dec)	232–235°	220–222°	175–178°
[α] _D ²⁰ (c0.7, H ₂ O)	-18.7°	-14.0°	-23.2°
Elemental analysis ^{d)}			
Found (Calcd)			
C	38.25 (38.59)	36.44 (36.27)	40.00 (39.78)
H	6.03 (5.98)	6.80 (6.74)	6.75 (6.57)
N	22.43 (22.51)	19.28 (19.64)	19.36 (19.46)
(%)	Cl; 13.46 (13.15)	Cl; 11.63 (11.47)	S; 3.35 (3.43)
UV			
0.1N HCl	272 (24,900)	275 (25,600)	297 (21,600)
(nm)			257 (16,700)
H ₂ O	272 (24,800)	275 (25,300)	297 (22,000)
(ε)			257 (17,100)
0.1N NaOH	288 (14,000)	290 (16,700)	335 (23,200)
			264 (8,940)

a) A mixture of E- and Z-isomers.

b) TLC (Silica gel, phenol-water-c.NH₄OH, 30:10:1).

c) TLC (Silica gel, 10%AcONH₄-acetone-10%NH₄OH, 9:10:1).

d) Calcd. for C₂₆H₄₅N₁₃O₁₀·3HCl (3-1), C₂₇H₄₇N₁₃O₁₀·3HCl·4H₂O·MeOH (3-2) and C₂₅H₄₃N₁₃O₉S·3AcOH·3H₂O (3-3).

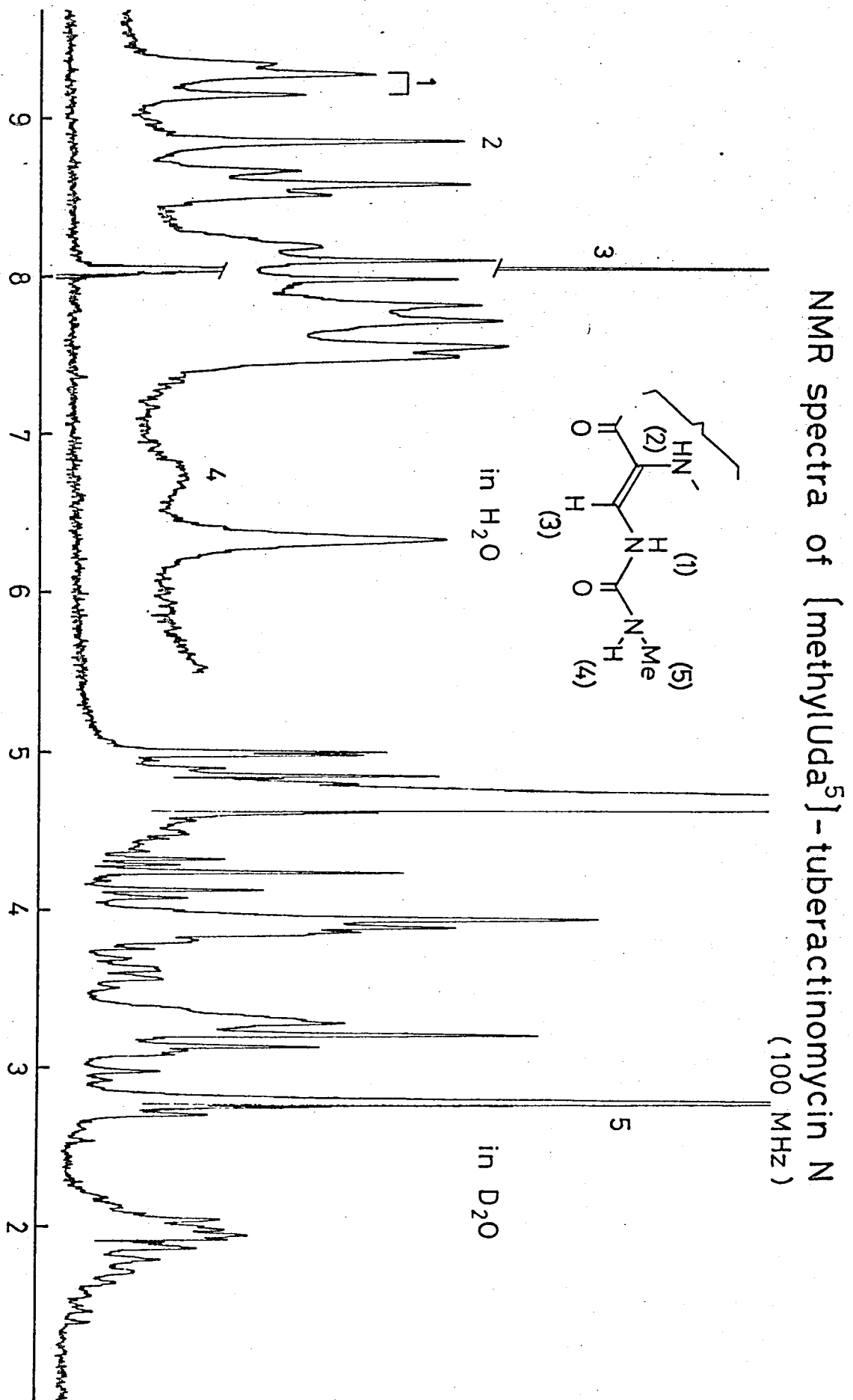


Fig.3-4

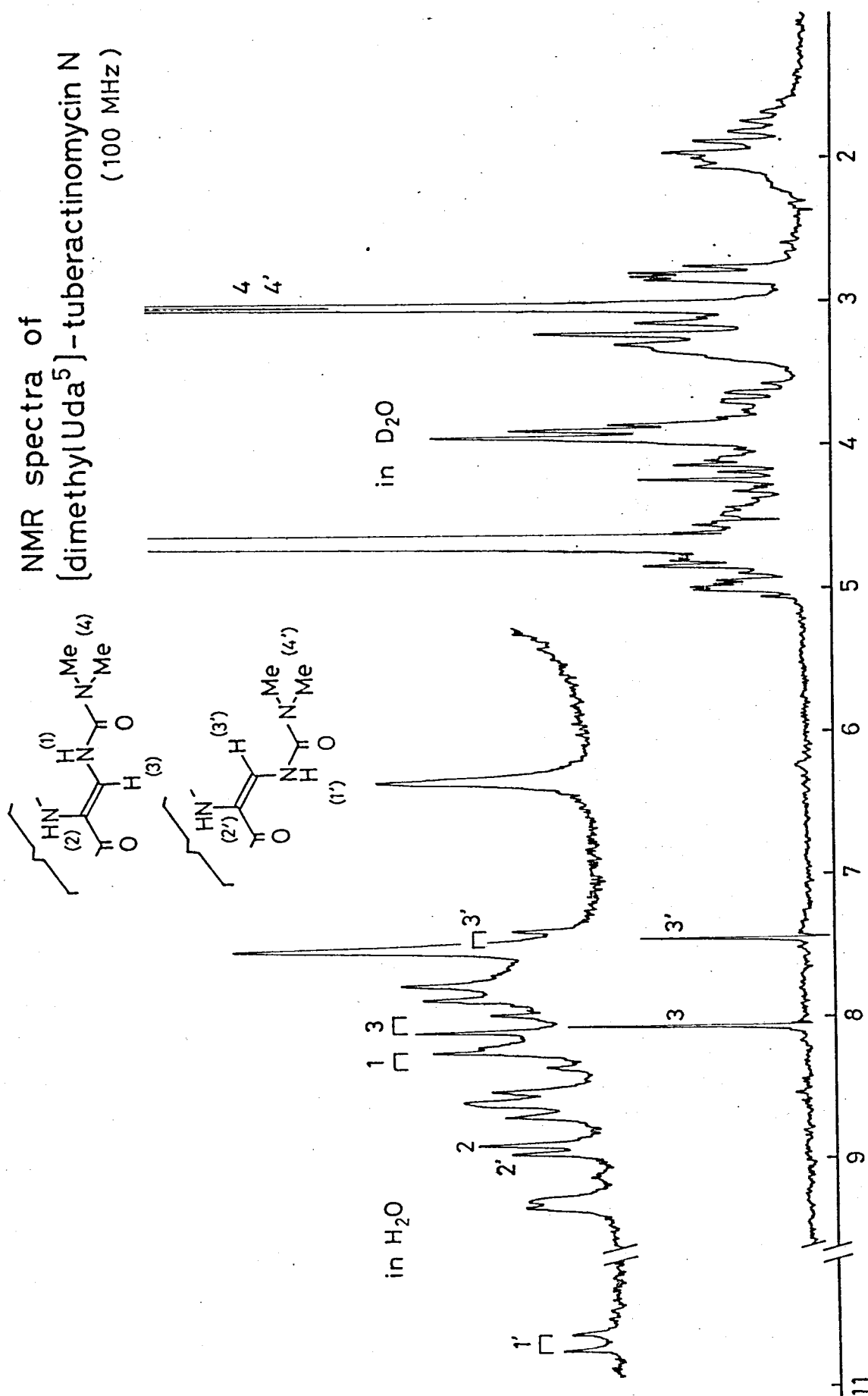


Fig. 3-5

NMR spectra of [thioUda⁵]-tuberactinomycin N
(100 MHz)

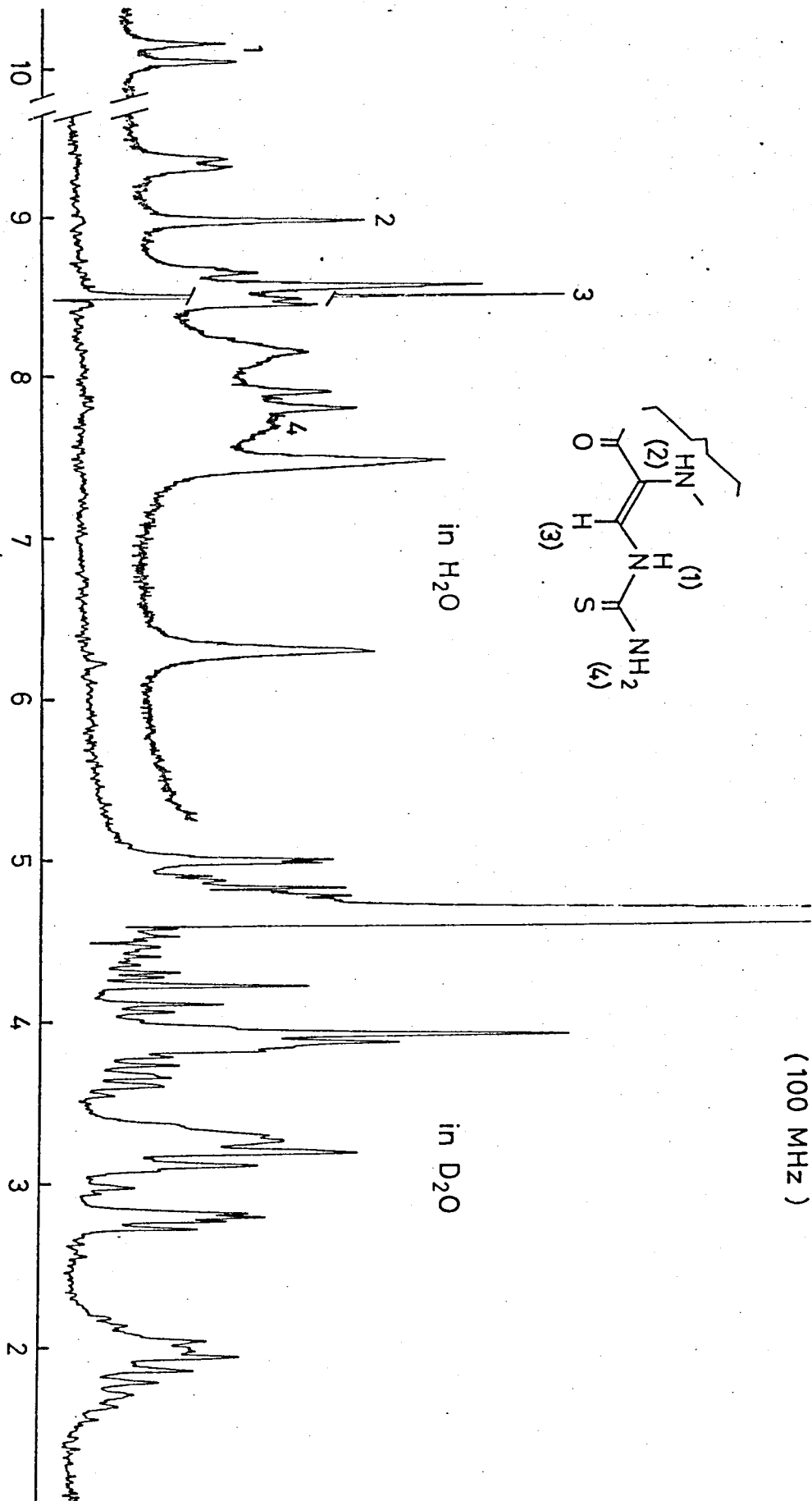


Fig. 3-6

Table 3-2 にこれらの物理化学的諸性質を示した。また Fig. 3-4~3-6 の NMR スペクトルにおいて、これらの誘導体はいずれも修飾された β -ウレイドデヒドロアラニン残基に由来するシグナル以外はすべて天然ツベラクチノマイシン N のシグナルと一致しており、ここから得た化合物は全て修飾された残基を除く構造がコンホメーションも含めて天然と同じであることが確認できた。

β -ウレイドデヒドロアラニン残基の二重結合に関しては、天然の Z 型以外に E 型も生じる可能性が考えられるが、NMR スペクトルにおけるオレフィンシグナルも天然物のものと比較した結果ナチルウレイド体(3-1)とチオウレイド体(3-3)は天然と同型の Z 体であり、ジナチルウレイド体(3-2)は Z 体と E 体が約 3:2 の比で混合している混合物であることが明らかとなった。なおチオウレイド体(3-3)のオレフィンシグナルはイオウ原子の影響で天然物のそれより若干低磁場シフトしている。またジナチルウレイド体(3-2)の両異性体は TLC ではわずかに分離可能なが、ガラムクロマトグラフィーでは分離することができなかったため、混合物として抗菌作用を測定した。

ジナチルウレイド体(3-2)の NMR スペクトルにおいて注目すべき点は、ウレイド部分の NH シグナルが天然物のそれより大きくシフトしている点である。この事実は Fig. 3-7 における二面角 a または b が天然型 ($a=b=180^\circ$) からずれた結果として説明することができる。即ちジナチルウレイド基のようなかさ高い原子団を導入すると、二重結合に関する幾何異性のみならず、ウレイド部分のコンホメーションにも変化をもたらすことが明らかになった。

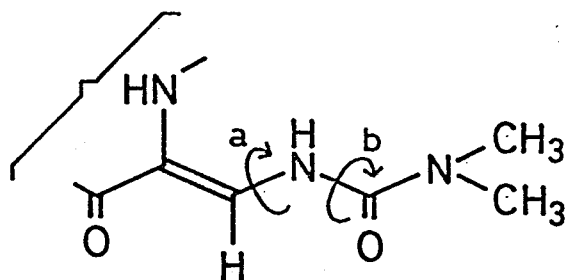


Fig. 3-7

ここで確立したウレイド交換反応は保護基や縮合試薬を何ら用いることなく天然ツベラクチノマイシンを修飾できるため簡単な反応であるので、この反応も利用して種々の尿素類を導入できれば、天然物より高活性の誘導体を非常に簡便な操作で創製できる可能性が考えられた。しかしながら先に述べた操作で Fig. 3-8 に示した種々の尿素類のツベラクチノマイシン N 分子

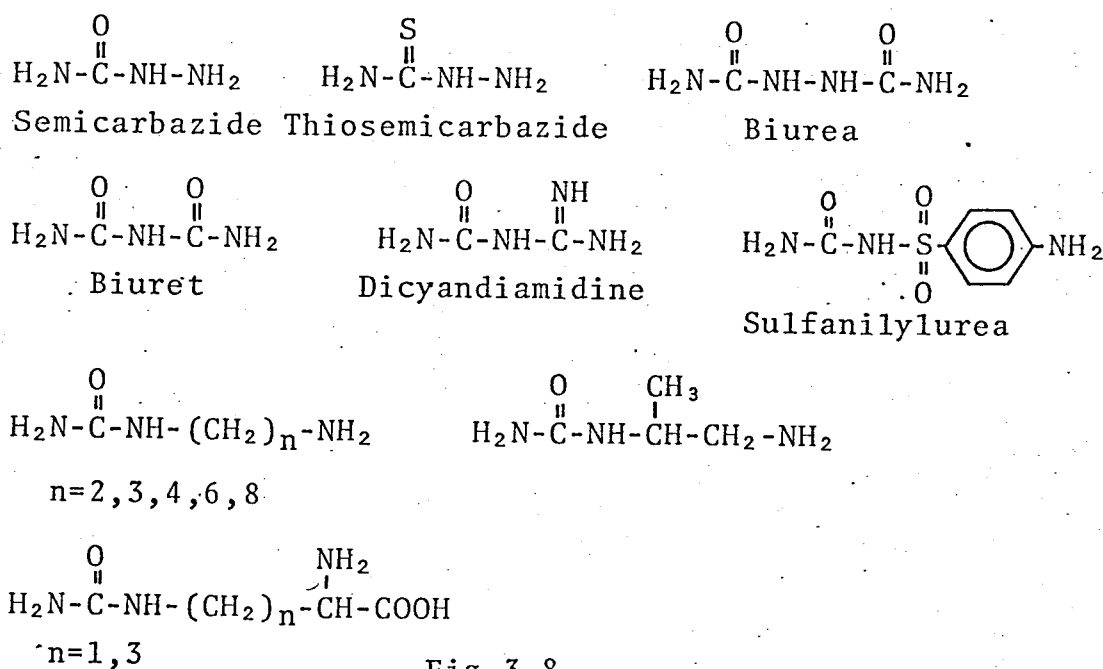


Fig. 3-8

への導入を試みたが、これらは全て反応せずツベラクテノマイシンNの分解が起こるのみであった。この結果から考察するとウレイド交換反応はごく限られたpKa値を持つ立体障害の少ない尿素誘導体にしか適用できないと考えられる。

3-2 ウレイド置換ツベラクテノマイシンN誘導体の抗菌作用についての考察

化合物 3-1、3-2 及び 3-3 の抗菌スペクトルも Table 3-3 に示した。ツベラクテノマイシンは病原菌体内の蛋白合成の場であるリボゾームと結合し、その細菌の蛋白合成を阻害することが確認されている。この拮抗分子とリボゾームとの間に働く結合力としてはイオン間の相互作用、水素結合による相互作用、疎水性相互作用が挙げられるが、荷電を持たずしかも親水性であるウレイド基がリボゾームと相互作用するとすれば、水素結合による可能性が最も高いと考えられる。しかしながらこのウレイド部分にメチル基を導入した化合物 3-1 及びウレイド基のカルボニルを水素結合性の弱いチオカルボニルに変化させた化合物 3-3 でもいずれも天然物と全く同程度の抗菌力を示しているのてウレイド部分は、そのような水素結合による相互作用にはほとんど関与していないと推測される。ジナチルウレイド体 (3-2) が天然物よりはるかに劣るもののなお若干の活性を残している事実もこの推論をさらに支持するものであると思われる。

Table 3-3. Minimum inhibitory concentrations (mcg/ml) of the compounds 3-1, 3-2 and 3-3^{a)}

	<u>3-1</u>	<u>3-2</u>	<u>3-3</u>	Tum N
<i>S. aureus</i> MS353	>100	>100	100	>100
<i>St. agalactiae</i> 1020	>100	50	>100	>100
<i>C. diphtheriae</i> P.W.8	6.3	12.5	3.1	3.1
<i>B. subtilis</i> ATCC 6633	50	100	12.5	25
<i>E. coli</i> B	50	>100	50	50
<i>K. pneumoniae</i> ATCC 10031	25	>100	12.5	25
<i>S. typhosa</i> H 901	50	>100	25	50
<i>Sh. sonnei</i> E33	100	>100	100	100
<i>P. vulgaris</i> OX19	50	>100	50	50
<i>Mycobacterium</i> ATCC 607	12.5	100	12.5	6.3
<i>Mycobacterium</i> 1088	25	>100	25	25

a) Abbreviation; Tum:tuberactinomycin.

次にジナテルウレイド体(3-2)の活性が天然物より低い原因を考察すると、ナテルウレイド体(3-1)は天然物と同等の活性を示すにもかかわらず、ジナテルウレイド体(3-2)はそれとはかけ離れて低活性であるのは、ジナテルウレイド構造そのものに基因する可能性も考えられるが、その他にこの化合物のオが五、E両異性体の混合物であり、しかもこれらのウレイド部分のコンホメーションが非天然型である事実も無視できない。むしろ非天然型であるE体がこの混合物の約半量を占めること、及び五体が非天然型のコンホメーションをとっていることが、この混合物の低活性の主原因と考えたい。

3-3 ウレイド交換反応による[¹⁴C]ウレイドデヒドロアラニン]-ツベラクチノマイシンOの調製

著者は、東京大学田中信男教授の依頼を受けて、ツベラクチノマイシンの作用機構の研究に使用する放射性ラベルレタツベラクチノマイシンの調製も上記のウレイド交換反応を利用して行なった。²³⁾この反応で放射性尿素を導入する場合、尿素を大過剰に使用する点は不利であるが、[¹⁴C]尿素は比較的安価であり、しかも反応後回収して再利用することも可能である。実際の問題はなく容易に標識化合物を調製できる。実際にツベラクチノマイシンNでこの反応を行うと、反応中一部α-ヒドロキシ-β-リジンの脱離が起る恐れが

あるので、これを避ける為、 β -リジン側鎖を持つツベラクチノマイシンOと材料に用いることにした。

まず予備実験として低放射性の尿素を用いて、特に放射性物質処理の為に種々の点で反応操作の改善を行った。即ち試験管中でツベラクチノマイシンO (15mg) と尿素 (15mg, 0.1mCi) を3N塩酸(0.5ml)と共に室温で30日間反応させた後、反応混合物をSephadex G10カラムで精製した。生成物の単離の為にイオン交換クロマトグラフィーを行なうと煩雑な操作を要し、しかも小規模実験の場合目的物の損失が予想された為である。この結果Fig. 3-9に示したようにツベラクチノマイシンOを過剰の尿素及び塩酸から効果的にかつ簡便に分離できた。このようにして得られた目的物はTLC(フェール-水-濃アンモニア水、30:10:1)で天然物と一致する単一なスポットを与え、目的とする標識ツベラクチノマイシンOが純粋に得られることが確認された。

次に以上の操作を高放射性のラベル化合物の調製に適用して、同じ規模でツベラクチノマイシンOをより高放射性の尿素(3.9mCi)と反応させた。この場合、前回と異なり反応中に黒色沈殿が生じた。これは市販の放射性尿素に含まれていた不純物もしくは高密度の放射線により生じた何らかの不安定分子種の分解産物と考えられたが、Sephadexカラムクロマトグラフィーの段

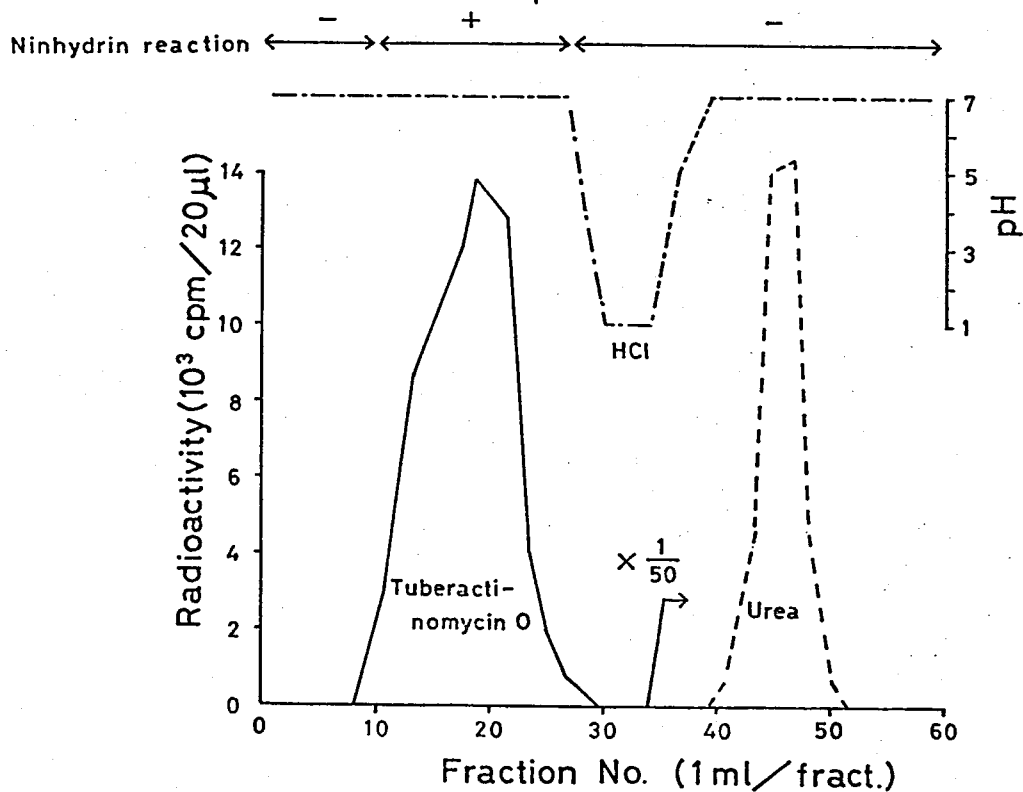


Fig. 3-9

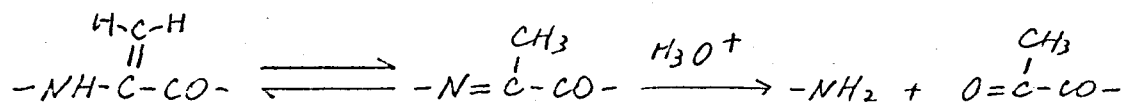
階び完全に除くことができた。ニンヒドリン反応陽性のフラクションを集め凍結乾燥すると〔 ^{14}C 〕ウレイドデヒドロアラニン 5 -ツベラクテリマイシンOが白色粉末として約70%の収率で得られた。比放射活性は 15.0 mCi/mmol であった。

以上の方法によりこの種の化合物を非常に簡便に放射性標識することが可能であり、今後ツベラクテリマイシン類やカプロオマイシン類のラベル化合物が必要とされる場合、このウレイド交換法は有効に利用できると思われる。なおこの実験によって得られた〔 ^{14}C 〕ウレイドデヒドロアラニン 5 -ツベラクテリマイシンOは直ちに田中研究室において大腸菌リボゾームとの結合実験に用いられ、ツベラクテリマイシンOはリボゾームの50Sと30Sのサブユニットに特異的に結合し、そのニヒがペプチジル-tRNAのトランスロケーションを阻害する結果となり、このことが大腸菌の蛋白合成を阻害する抗菌作用の本質であることが明らかにされるという貴重な実験結果も生むことになった。²⁴⁾

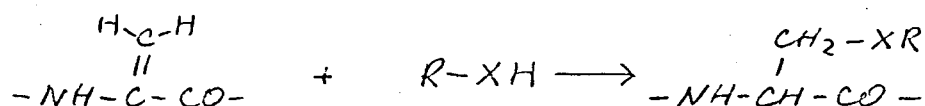
3-4 $[\Delta\text{Ala}^5]$ -ツベラクテリマイシンOの合成の試み

この化合物を合成する際、最も問題となるのはデヒドロアラニン部分の合成である。デヒドロアラニンは次に述べるような性質をもつ極めて不安定なアミノ酸である。

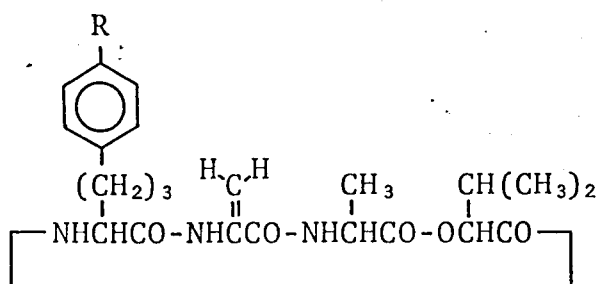
- (1) 光又は空気的作用により容易に重合する。この性質は特に低分子量のデヒドロアラニン誘導体において著しい。またシリカゲルは重合を促進する。
- (2) 中性もしくは塩基性状態では比較的安定であるが、酸性溶液中ですみやかに水解される。



- (3) β -ウレイドデヒドロアラニン残基は接触還元に抵抗するのに対し、デヒドロアラニン残基は容易に還元されてアラニンになる。
- (4) デヒドロアラニン中の二重結合は種々の求核剤の付加を受ける。



これらの諸性質の為にデヒドロアラニンを含むペプチドの精製手段並びに反応条件は大きい制約を受ける。従ってデヒドロアラニンペプチドを合成するには、デヒドロアラニン残基の前駆物質を用いてペプチド合成を進めて、これをできるだけ最終に近い段階でしかも効率よくデヒドロアラニンへ変換するという基本方針をとらざるを得ない。事実、トリペプチド以上のデヒドロアラニン含有天然物の唯一の合成例であるリング斑点落葉菌毒素AM-Toxin (Fig. 3-10)の合成において、泉屋らはセリンを含む環状テトラデカペプチドを合成した後、セリンをデヒドロアラニンに変換する経路でのみ成功し、予めデヒドロアラニン残基を導入して反応を進める経路ではほとんど失敗している。²⁵⁾



	R
AM-Toxin I	OCH ₃
II	H
III	OH

Fig. 3-10

デヒドロアラニンの合成に関しては第6章で述べるが、まず従来法のうち原料入手の容易さ及びペプチド合成における前駆物質使用上の利点の点から、セリンのO-トシル化法を検討して、この方法によるツベラウチノマイシン類似体の合成を試みた。

保護環状ペンタペプチド(3-5、Fig. 3-11)は常法に従って問題なく合成できた。この化合物の3種のセリン残基の中で、後にデヒドロアラニンに変化させるべき前駆体のセリンと最後までセリン残基として残すべき2個の残基を区別する為に、前者は遊離の状態で、後者はオキソニル基で保護して導入した。

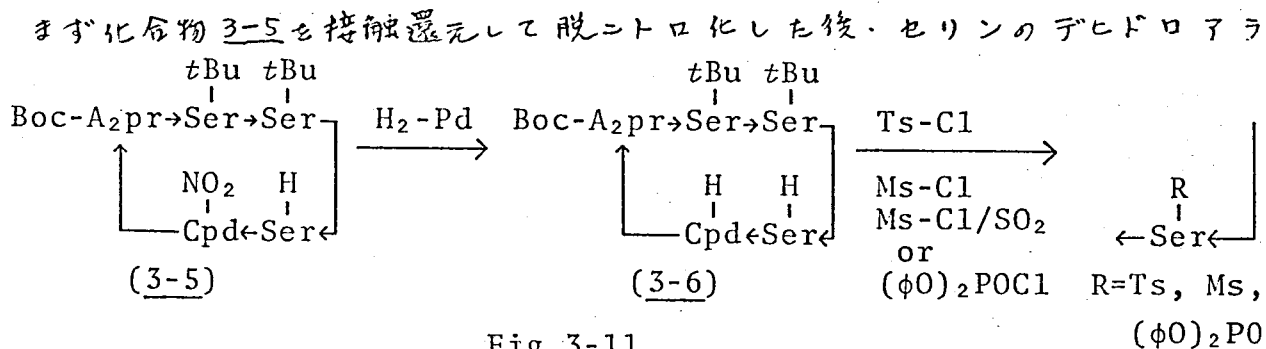


Fig. 3-11

ニンへの変換を試みた(Fig.3-11)。セリン残基は水酸基のトシル化次いで塩基処理によるトシルオキシ基の β 脱離を経て、デヒドロアラニン残基に導くことができる。常法に従い化合物 3-6 をピリジン中塩化トシル処理して、セリンのトシル化を試みたが、いかなる反応条件下でも出発原料はTLCで見える限り全く変化せず、目的物は得られなかった。この反応の不成功の原因を考察すると、水酸基のトシル化の成否は立体障害に左右されやすいことが第1に考えられる。泉屋らも AM-Toxin II の合成途上でセリンのトシル化が全く進行せず、その原因をセリンに隣接する残基の立体障害の影響と推定している。²⁶⁾ 彼らは塩化トシルより立体的に小さい塩化メタンスルホニルを使用することによって低収率ながら目的物を得ている。著者もこれに習い、塩化メタンスルホニル及びさらに活性化された試薬塩化メタンスルホニル/二酸化イオウを試したが、やはり目的物は全く生じなかった。この代に、ジフェニルリン酸クロリドによる水酸基のリン酸エステル化²⁷⁾を試みた。この試薬を用いると、化合物 3-7 及び 3-8 (Fig.3-12) 中のセリン残基から、リン酸エステルを経て塩基処理により、デヒドロアラニン残基に高収率で導くことができた。しかし、環状ペントペプチド 3-6 はこの試薬に対しても全く反応しなかった。

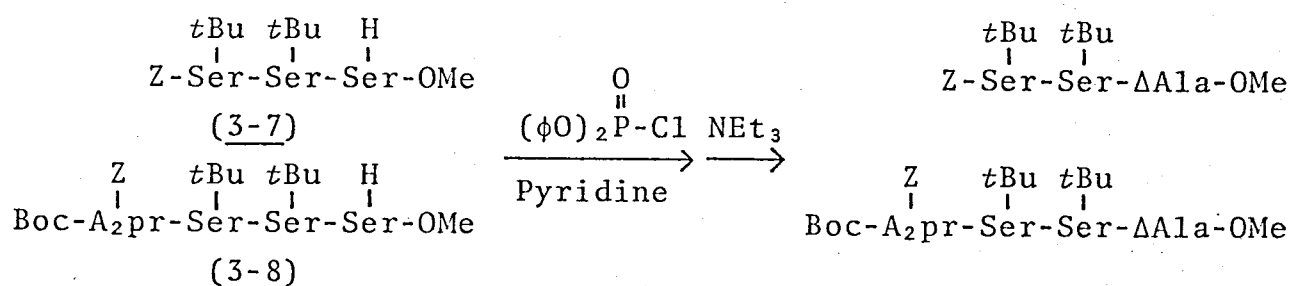


Fig.3-12

化合物 3-6 は AM-Toxin よりさらにかさ高い原子団を多く有しており、問題のセリン残基はそれらの中に完全に埋もれた形で存在している為に、水酸基の修飾が進行しないのではないかと考えられる。以上の実験結果より、化合物 3-6 中のセリン残基をデヒドロアラニンに変換することは困難と結論せざるを得ず、この経路による合成を断念した。しかし立体障害がこの失敗の原因であるとするれば、上記の試薬よりも立体的に小さい試薬を使用し得る反応が他に考えられれば、目的を達成する可能性があると推論した。このような考えのもとに、次に S-ナチルシステイン法(第6章参照)の検討を行った。

S-ナチルシステイン法に対し、予め検討しておくべき問題点は、保護基特にかプロレオマイシジンのニトロ基の切断方法並びにその切断と S-ナチルシス

ティンのデヒドロアラニン化の順序である。即ち Fig. 3-13 に示した化合物 3-9 を合成中間体と考えると、S-ナチルシステインのデヒドロアラニン化もニトロ基の還元後に行なう場合、イオウ原子が触媒毒となり還元を阻害するこゝが考えられ、その逆の順序で行なう場合には、デヒドロアラニン残基の分解を伴わないニトロ基の切断条件を見い出さねばならない。この点に関してジペプチド 3-10 (Fig. 3-14) をモデルペプチドとして予備実験を行った。

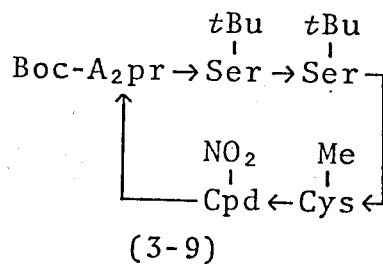


Fig. 3-13

まずジペプチド 3-10 中の S-ナチルシステイン残基をデヒドロアラニンに導き 3-11 とし、この化合物の脱ニトロ化を接触還元又はフッ化水素処理によって試みた。しかし前者ではニトロ基に先立ってデヒドロアラニンが還元され、またフッ化水素処理ではデヒドロアラニン残基は完全に分解した。この結果によって、デヒドロアラニン化した後、ニトロ基を切断する合成経路は否定された。

次に脱ニトロ化後デヒドロアラニン化する経路の可能性を検討した。又価のイオウの存在下での接触還元は大量の触媒を用いるか又は BF_3 ・エーテル錯体と触媒と共に添加した場合成功した例が知られている。しかし化合物 3-10 のニトロ基の還元は触媒量を多くしても全く進行せず、 BF_3 ・エーテル錯体を加えると、還元は進行する反面、この試薬によりアトキシカルボニル基が部

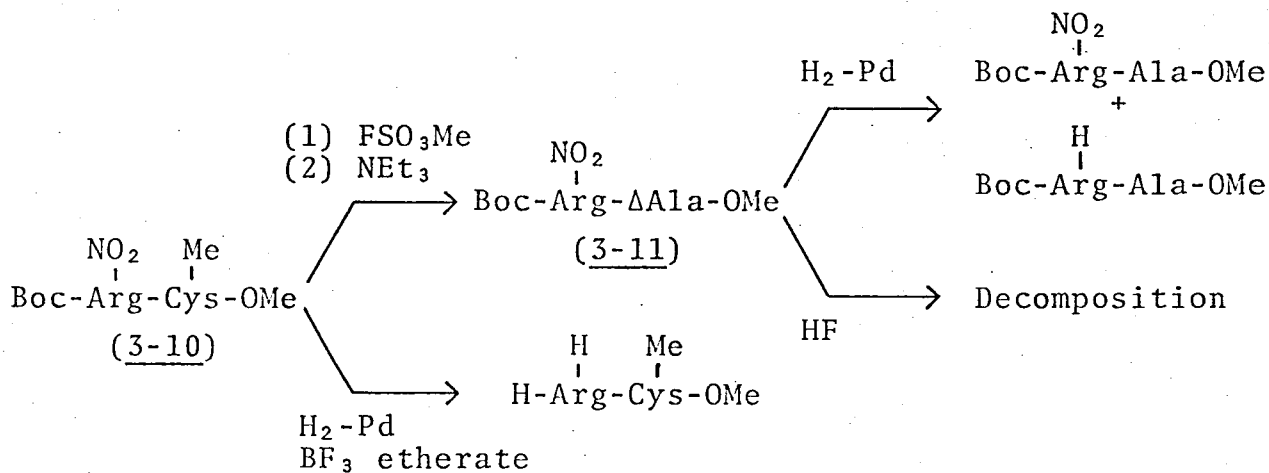


Fig. 3-14

分的に切断された。化合物 3-9 中のアトキシカルボニル基あるいはカバチル基はデヒドロアラニン化の時に必要な保護基であり、これらが脱ニトロ化の段階で切断されたことは、この経路によっても 3-9 以降の合成が進行できないことも意味するものである。

以上の実験結果より、S-ナチルシステイン法もこの合成に利用できないことが判明した。以上の経験を基にして考えると、前駆体にイオウ原子のような触媒毒が含まれず、しかもその前駆体が立体的に小さい試薬でデヒドロアラニンに変換できる合成法があるならば、目的とする $[\Delta\text{Ala}]$ -ツベラウチノマイシンOの合成に効果的に応用できるのではないかという考えに到達した。この考え方に基ずいて著者は最後にこれらの条件を満たすものとして、 α,β -ジアミロプロピオン酸の Hofmann 分解を利用する新しいデヒドロアラニン合成法を見出すことができた。これに関しては第6章を述べる。

第4章 ツベラクチノマイシンの抗菌作用における環状グアニジノ基の意義

ツベラクチノマイシンやカプロオマイシンは他にはほとんど見られない特異な部分構造のひとつとして、カプロオマイシジン又はツベラクチジン残基の環状グアニジノ基を含んでいる。既に見てきたように、ツベラクチノマイシンに関しては第1残基即ち分枝部アミノ酸の存在、第3,4残基の水酸基の存在、第5残基のラレイド及び二重結合の存在はいずれもその抗菌性発現に決定的な因子でないことが明らかとなった。そうすればツベラクチノマイシンの分子中最も重要な構造部分は残る第6残基即ちグアニジノアミノ酸部分にある可能性が高まってきた。この特異な官能基が生理活性発現において、果たして必須の要素であるかどうかという問題を判定することは、本研究中最も重要でかつ興味のあるところである。

すでに豊島らはこのグアニジノ基をニトロ化した構造の $[Cpd(NO_2)^6]$ -ツベラクチノマイシンOを合成しそれが全く活性を示さないことから、グアニジノ基の塩基性が抗菌性発現に必要であることを示唆した。しかしこのグアニジノ基が環状構造をとっていることの意義については全く知られていなかった。このため、これを明確にする目的で環状グアニジノ基を二つの異なる様式で開環した構造に相当する2種のツベラクチノマイシン類似体即ち $[Arg^6]$ -ツベラクチノマイシンO (4-1) 及び $[Gal^6]$ -ツベラクチノマイシンO (4-2) (Gal: β -グアニジノアラニン) (Fig. 4-1) をそれぞれ全合成してその抗菌活性を測定した²²⁾

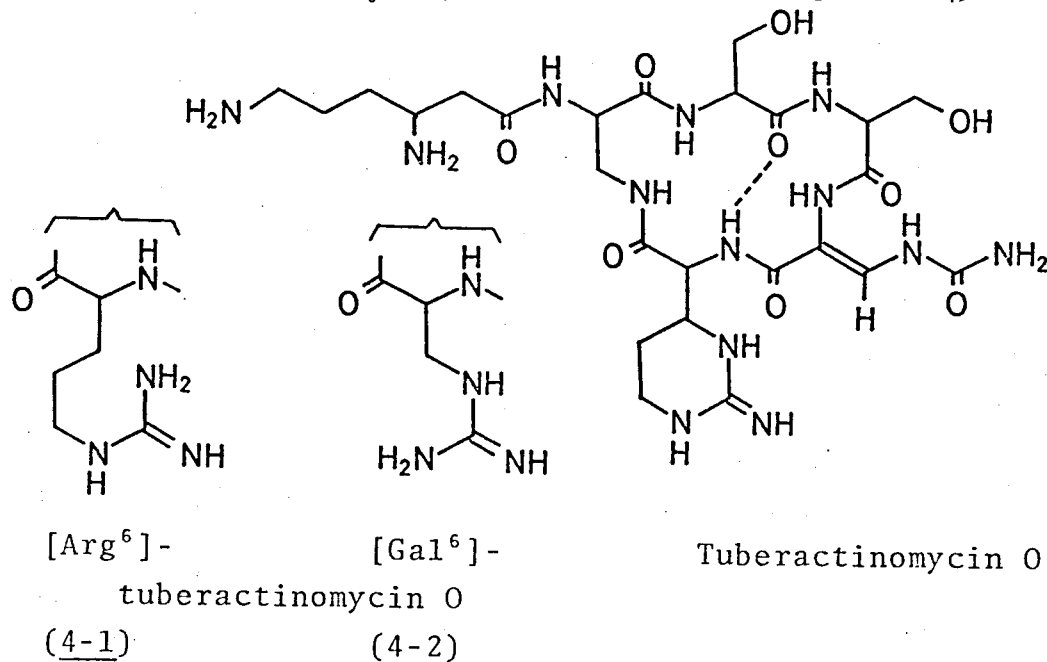


Fig. 4-1

4-1 (Arg⁶-ツバラクチノ)マイシンの合成

この化合物の合成経路を Fig. 4-2 に示した。β,β-ジエトキシアラニン残基をC端として、逐次ペプチド鎖を延長して、鎖状ペプチド 4-5 を得た。これをN-ヒドロキシコホル酸イミド活性エステル法で環化した後、脱保護を行い、レイドデヒドロアラニン化を行ない (Arg⁶-ツバラクチナミン N (4-10)) へ導いた。これに常法によりβ-リジン残基を導入して最終生成物 (Arg⁶-ツバラクチノ)マイシン (4-1) を得ることができた。化合物 4-10 及び 4-1 の NMR

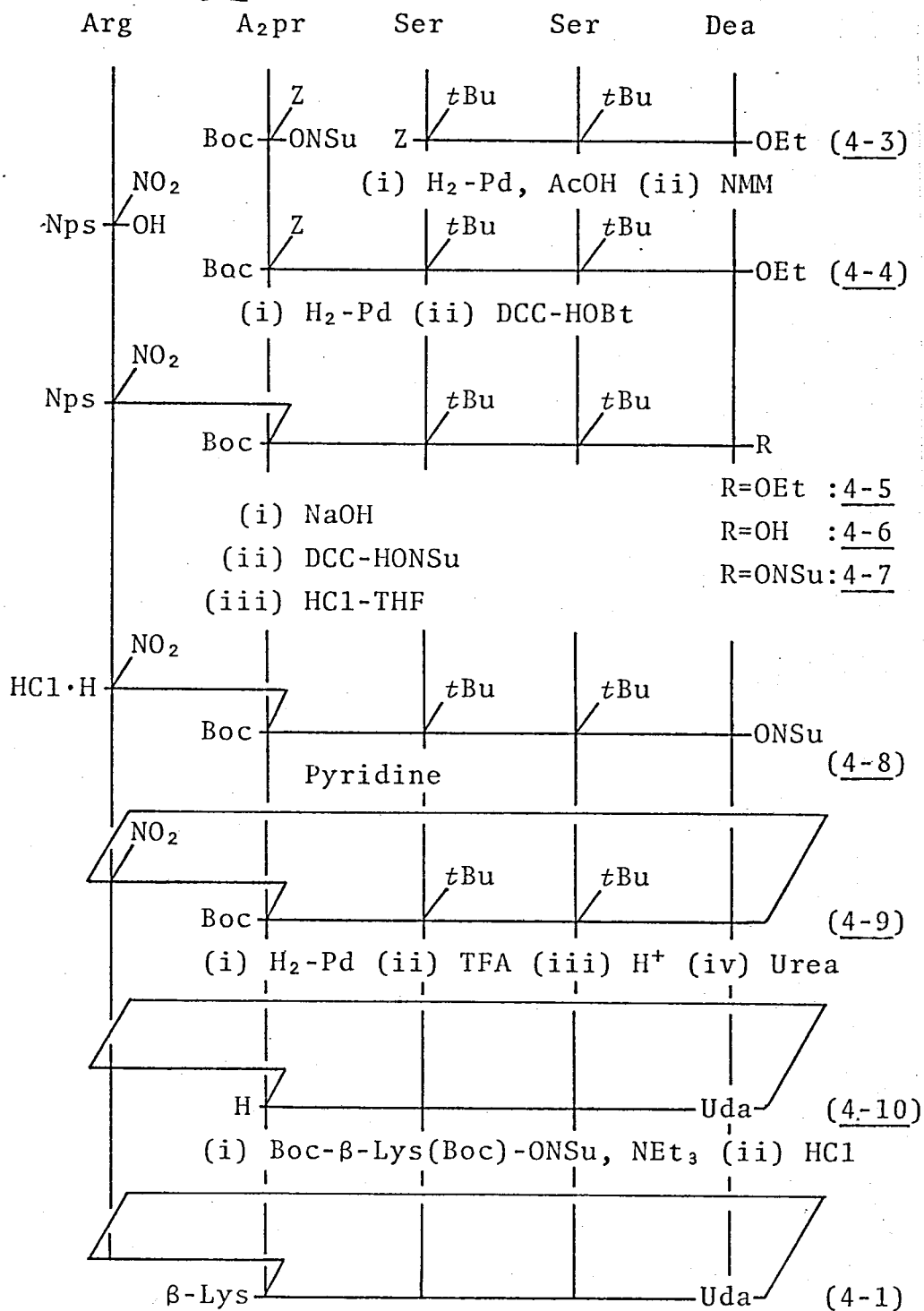


Fig. 4-2

NMR spectra of [Arg⁶]-tuberactinamine N
(100 MHz)

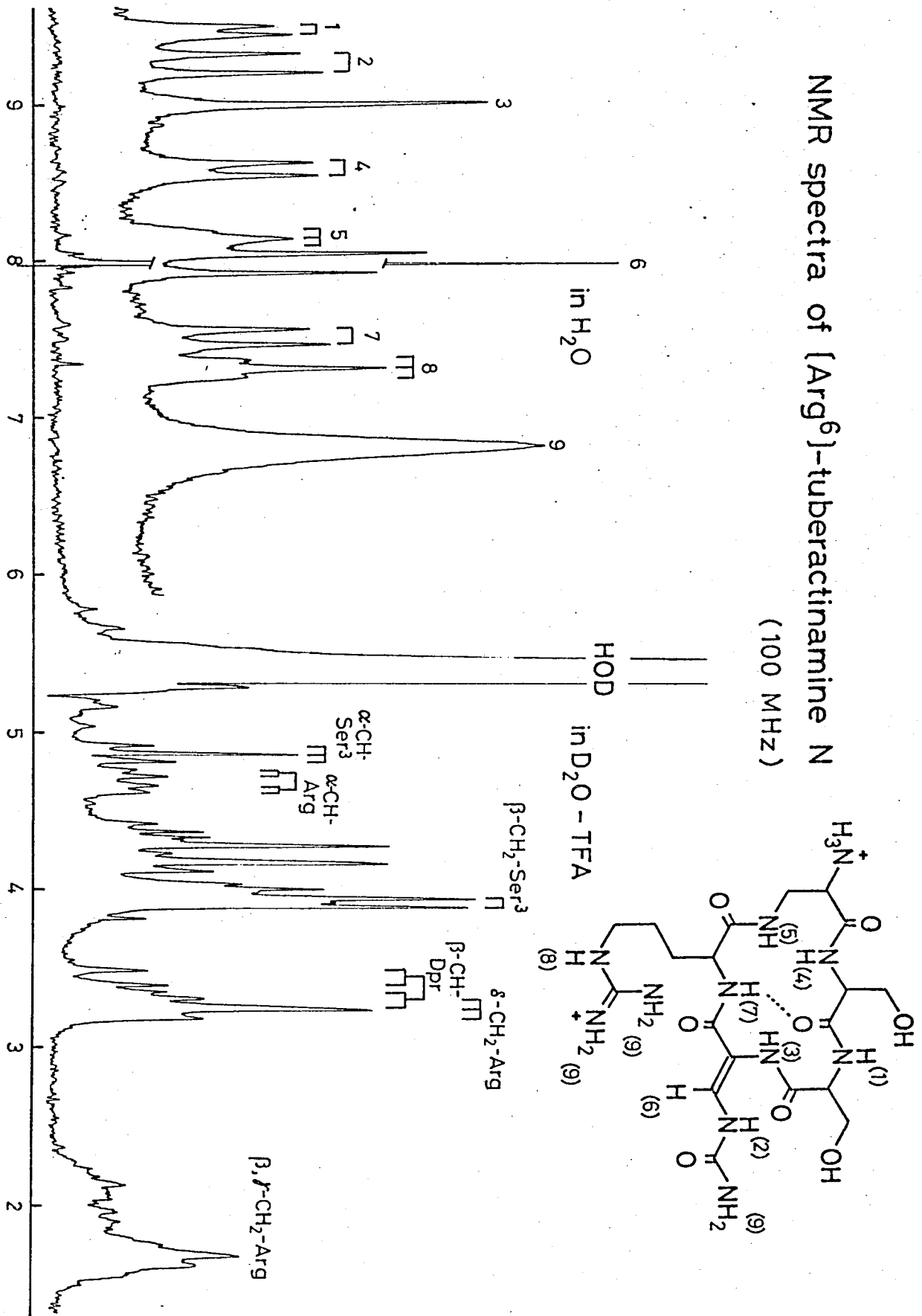


Fig. 4-3

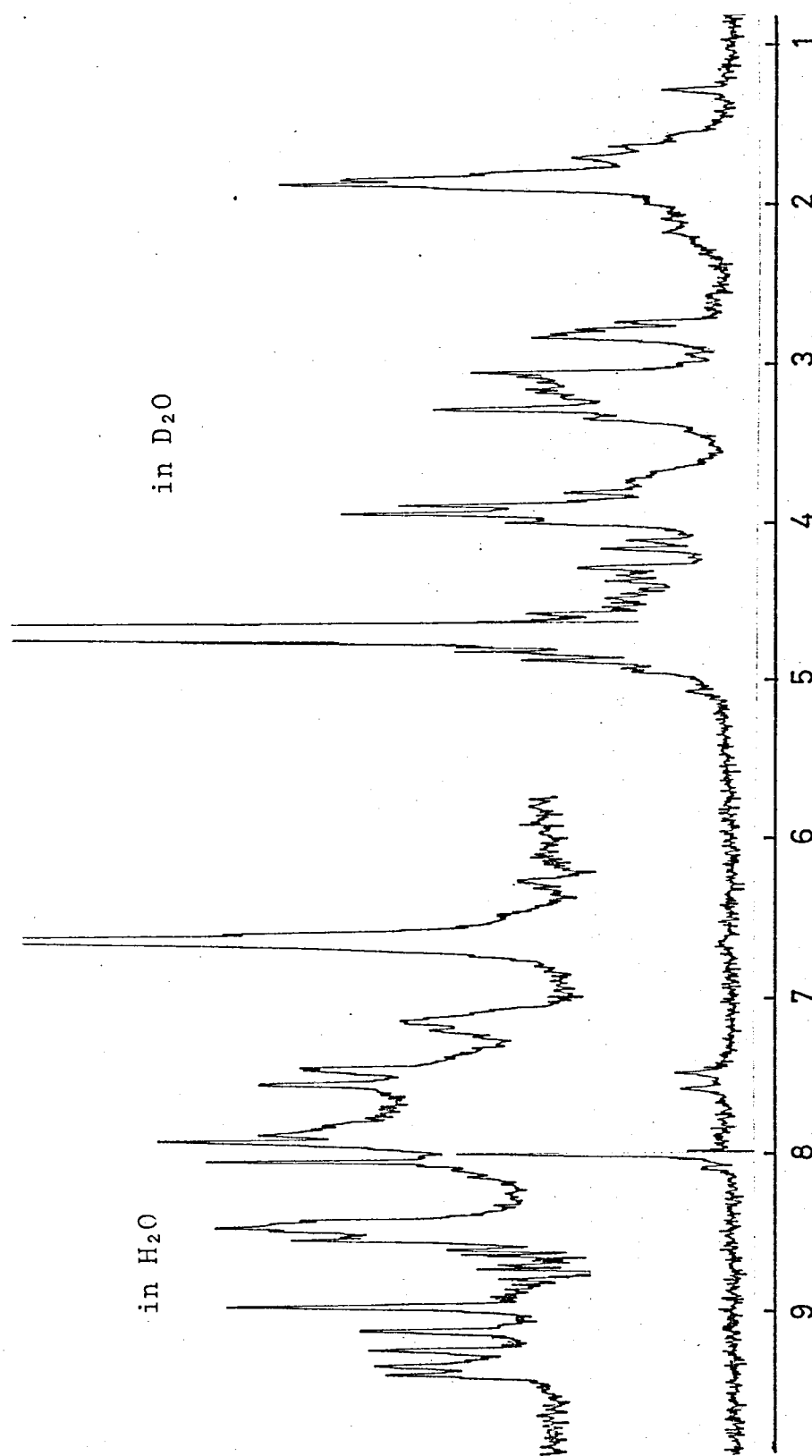
NMR spectra of [Arg⁶]-tuberactinomycin O

Fig. 4-4

スペクトルを Fig. 4-3 及び 4-4 に示した。いずれも天然物と類似のパターンを与え、これらの化合物が天然物と同じコンホトーションをとっていることを示している。

4-2 [Gal⁶]-ツベラクチ) マイシンOの合成

この化合物を合成する時、2通りの経路が考えられる。即ち α, β -ジアミノプロピオン酸をペプチド中に組み込んでおき、その β -アミノ基を適当な段階でグアニジノ化して β -グアニジノアラニン残基とする方法と、初めから β -グアニジノアラニンを用いてペプチド合成を進める方法である。前者の形式はアルギニン含有ペプチドの合成に時として見うけられるが、ペプチド合成を進めてゆく上で問題の多いグアニジノ基を最終段階で導入する点で有利であ

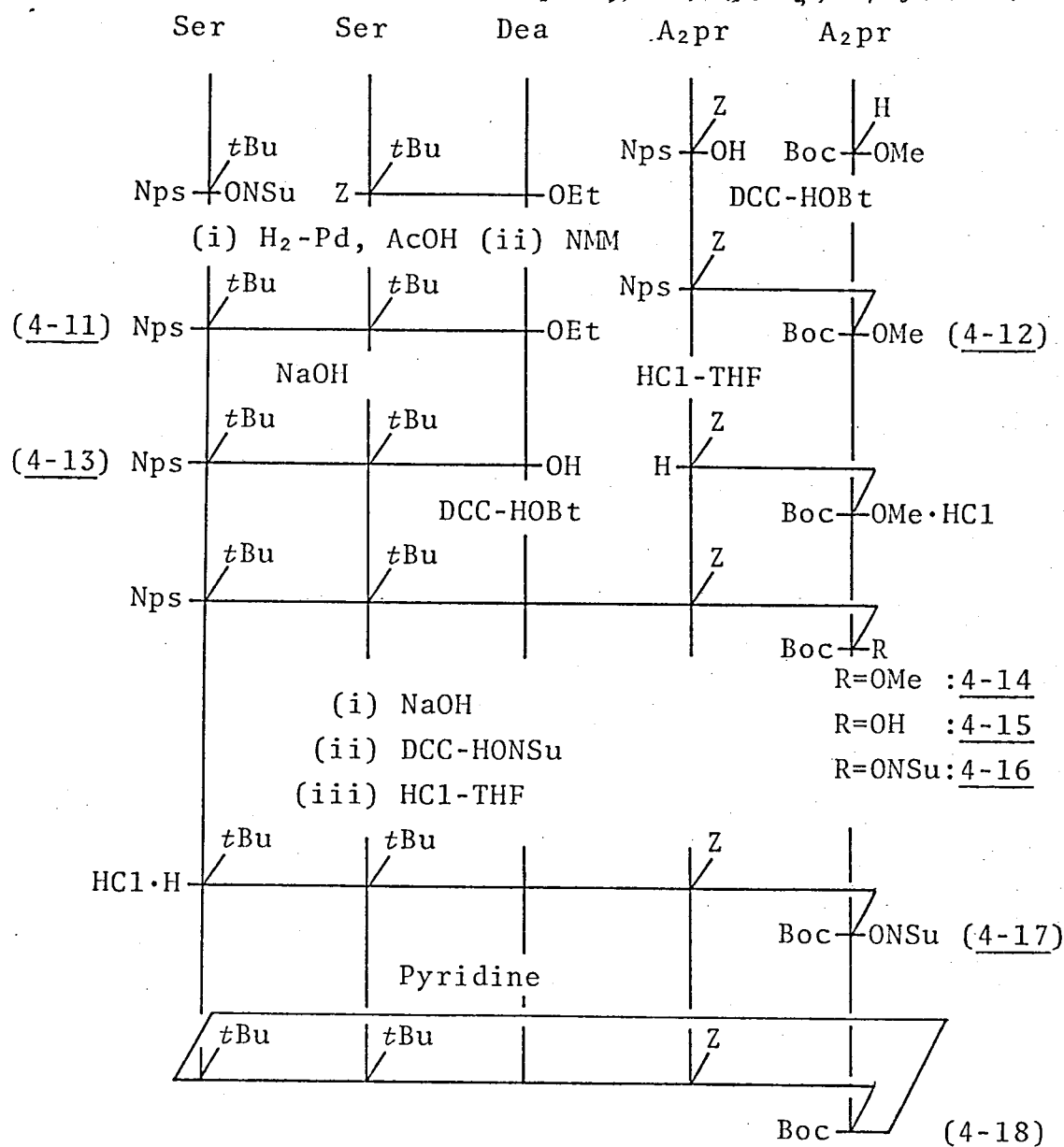


Fig. 4-5

る。従ってまずこの方法による合成を試みた。

Fig. 4-5 と 4-6 に合成経路を示した。トリペプチド 4-11 及びジペプチド 4-12 の両フラグメントは各々常法により合成した。トリペプチド 4-11 の N 端にジペプチド 4-12 を縮合することを考え、4-11 の O-ニトロフェニルスルフェニル基を切断したところ、生じたトリペプチド塩酸塩は油状でしかもその回収率が低い為、ジペプチドはトリペプチドの C 端に縮合して鎖状ペンタペプチド 4-14 を得た。これを常法通り環化して環状ペンタペプチド 4-18 へ導いた。

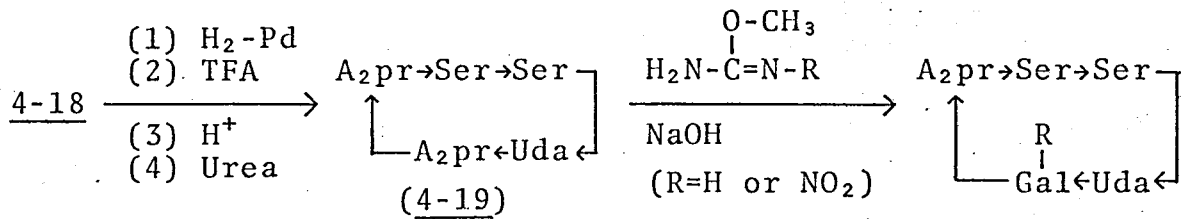


Fig. 4-6

次に 4-18 をツベラフテナミン N 類似体 4-19 に導いた後、 α, β -ジアミノプロピオン酸⁶残基の β -アミノ基の選択的グアニジノ化を試みた (Fig. 4-6)。一般にグアニジノ化反応は立体障害の影響を受けやすく、 γ -級炭素に結合したアミノ基は反応しにくいので、 α, β -ジアミノプロピオン酸⁶残基の β -アミノ基に比べ、 α, β -ジアミノプロピオン酸²残基の α -アミノ基はグアニジノ化されにくいと考えられる。さらにまたこの第 6 残基の α -アミド基は分子内水素結合に関与し、固定した β -Turn 構造の一部を形成しているのびグアニジノ化の際の塩基性条件によるこの残基の N,N-アシル転位は起こりにくいことが期待された。しかし実際に O-ナチルイソ尿素を用い水酸化ナトリウム水溶液中でグアニジノ化を試みたところ、TLC 上でいくつかのスポットが現われ、目的物を単離するには至らなかった。また O-ナチル-N-ニトロイソ尿素を用いた場合も同様な結果を与えた。反応混合物の TLC から判断すると予想を裏切ってやはり α, β -ジアミノプロピオン酸⁶残基の N,N-アシル転位が起こり、さらに何らかの副反応を伴ったことが推測された。従ってこの経路に基づき合成は断念し、ペプチド合成の最初から β -グアニジノアミンを用いる経路に方針を切り替え以下の検討を行った。

まずペプチド合成に必要な β -グアニジノアミン誘導体の調製について述べる (Fig. 4-7)。文献記載の方法¹⁹⁾ トシルアスパラギンから N-トシル- α, β -ジアミノプロピオン酸を調製し、 β -アミノ基をニトログアニジノ化して化合物 4-20 を得た。4-20 の脱トシル化を HBr-AcOH-フェニールで行なうと目的の

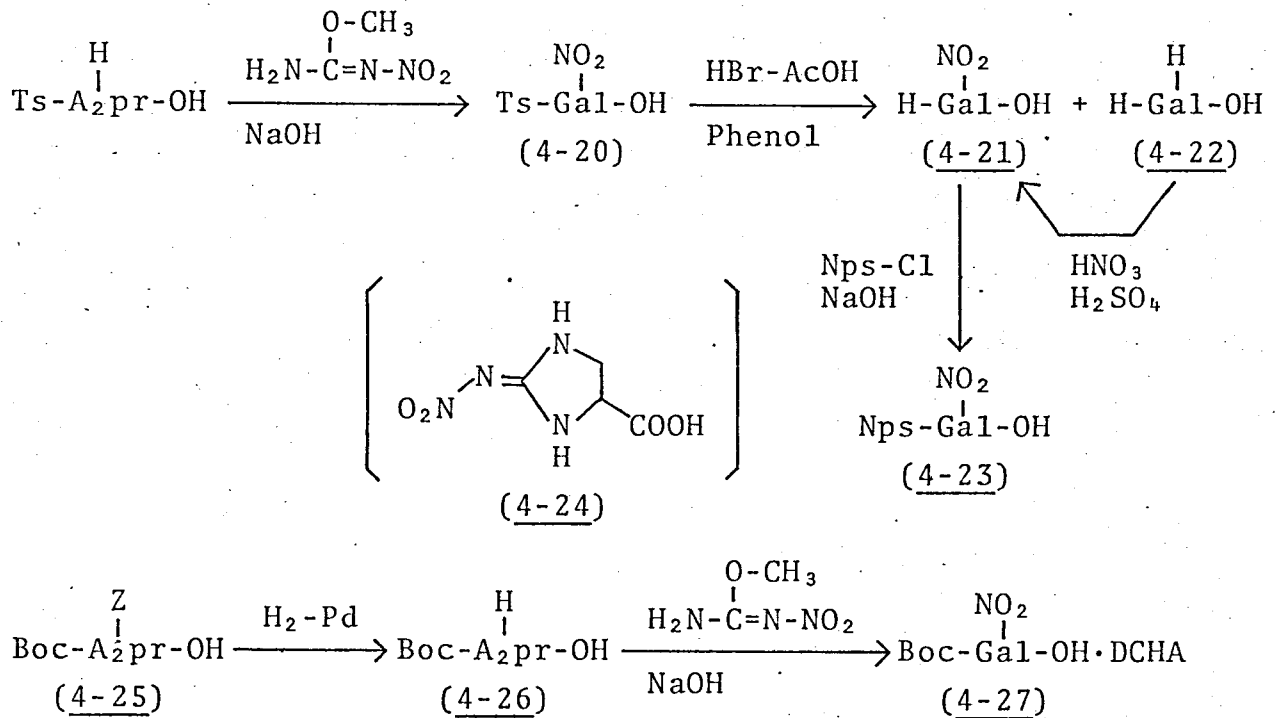


Fig.4-7

Gal(NO₂) (4-21)と共に脱ニトロ化された4-22も生じたが、これは再びニトロ化して4-21に導くことができた。次にαアミノ基のO-ニトロフェニルスルフェニル化を試みたところ、アミノニトロ化が優先するのみで目的物4-23は全く生じなかった。ニトログアニジノ基はアミノ基による求核攻撃を受けやすいことが知られているが、分子内のαアミノ基とニトログアニジノ基との間の閉環がO-ニトロフェニルスルフェニル化より優先して起こり、化合物4-24が生じたものと考えられる。²⁸⁾

そこで始めからペプチド合成に利用できる保護基でαアミノ基を保護したα,β-ジアミノコピオン酸誘導体のβアミノ基をグアニジノ化する経路を選んだ。即ちBoc-A₂pr(Z)-OH (4-25)を脱ベンジルオキシカルボニル化して4-26とした後、βアミノ基をニトログアニジノ化して目的とする4-27をジシクロヘキシルアミン塩として純粋に得ることができた。

上記得たβ-グアニジノアラニン誘導体を用いたペプチド合成をFig.4-8に示した。4-27と4-28をDCC-HOBT法で縮合してジペプチド4-29を得たがこの単離収率は種々条件を検討したにもかかわらず、30%を上回ることはなかった。この原因としてGal(NO₂)残基がアルギニンにも見られるようなラクタム形成(Fig.4-9)を起こしたことが考えられる。続いてジペプチド4-29のα-オキシカルボニル基をTHF中の塩化水素で切断した後、N端側トリペプチド

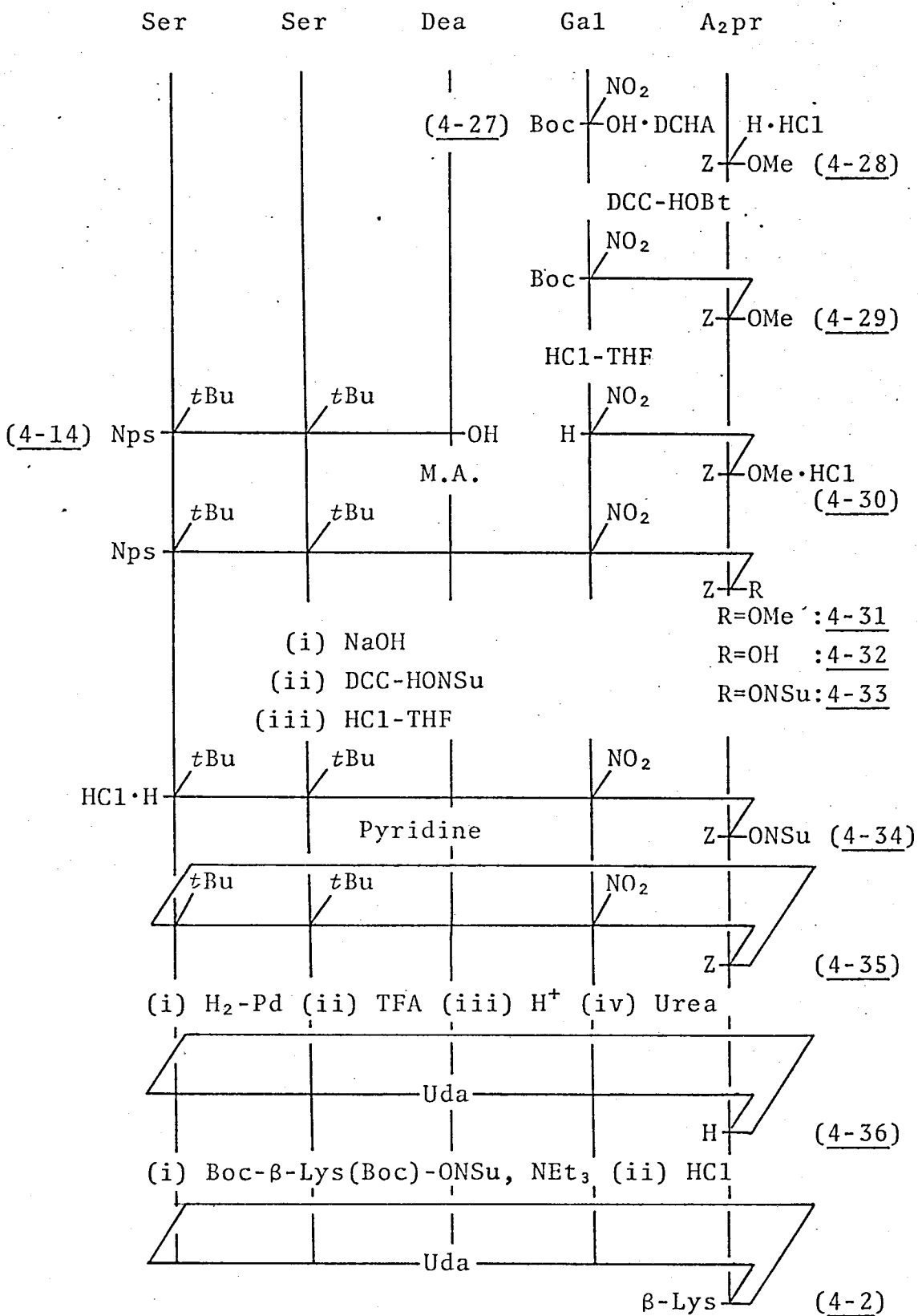


Fig. 4-8

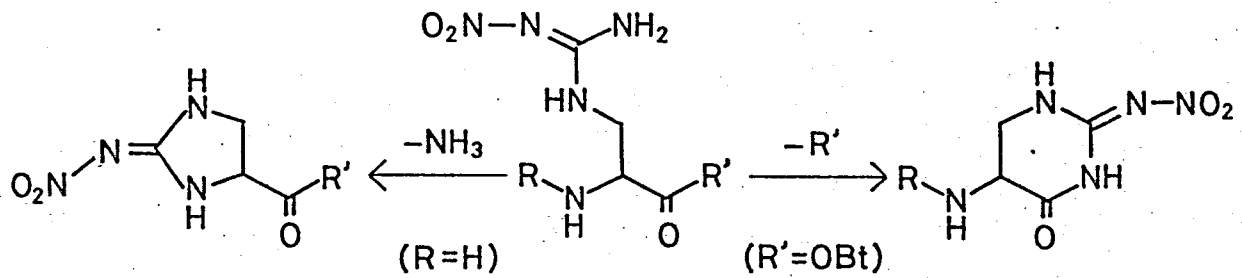


Fig. 4-9

チド 4-14 と縮合した。この時先に述べたように Gal(NO₂) 残基の開環 (Fig. 4-9) が縮合より優先することが予想されたが、トリペプチドフラグメントを足当量用の混合酸無水物法でフラグメント縮合を試みたところ、目的とする鎖状ペプチド 4-31 を 32% の収率で得ることができた。Gal(NO₂) 残基はこのような N 端側へも C 端側へも極めて開環しやすい残基であるが、ひとたびペプチド中に組み込まれた後はやや副反応を起こす傾向は認められなかった。

上記の鎖状ペプチド 4-31 を以下常法通り環化、脱保護等の操作を経て [Gal⁶]-ツベラクテリナミレン N (4-36) とし、これに β-リジンを導入して [Gal⁶]-ツベラクテリマイシン O (4-2) へ導いた。化合物 4-36 と 4-2 の NMR スペクトル (Fig. 4-10, 4-11) は天然ツベラクテリマイシン O と類似したパターンであり、この化合物も天然物類似のコンホメーションをとっていることを示している。

4-3 [Arg⁶]-及び [Gal⁶]-ツベラクテリマイシン O の抗菌作用についての考察

Table 4-1 にこの両化合物の抗菌スペクトルを示した。[Arg⁶]-ツベラクテリマイシン O は全く抗菌力を持たないのに対し、[Gal⁶]-ツベラクテリマイシン O は天然物より弱いながら明らかに抗菌活性を示した。この結果から判断すると環状グアニジノ基は、この抗生物質が抗菌力を発現する為の必須の条件ではなく、第 6 番目のアミノ酸残基の β-炭素にグアニジノ基が結合していることが重要であると結論された。このことは [Arg⁶]-ツベラクテリマイシン O ではアルギニン残基の側鎖が伸長した形をとりグアニジノ基とペプチド骨格との位置関係が天然物とは異なるのに対し [Gal⁶]-ツベラクテリマイシン O ではグアニジノ基の位置が骨格部分に対してほぼ同じ位置を保ち得ることの結果として理解される。

しかし [Gal⁶] 類似体の活性が天然物のそれに比較してやや弱いことは、グ

NMR spectra of [GuaAla⁶]-tuberactinamine N
(100 MHz)

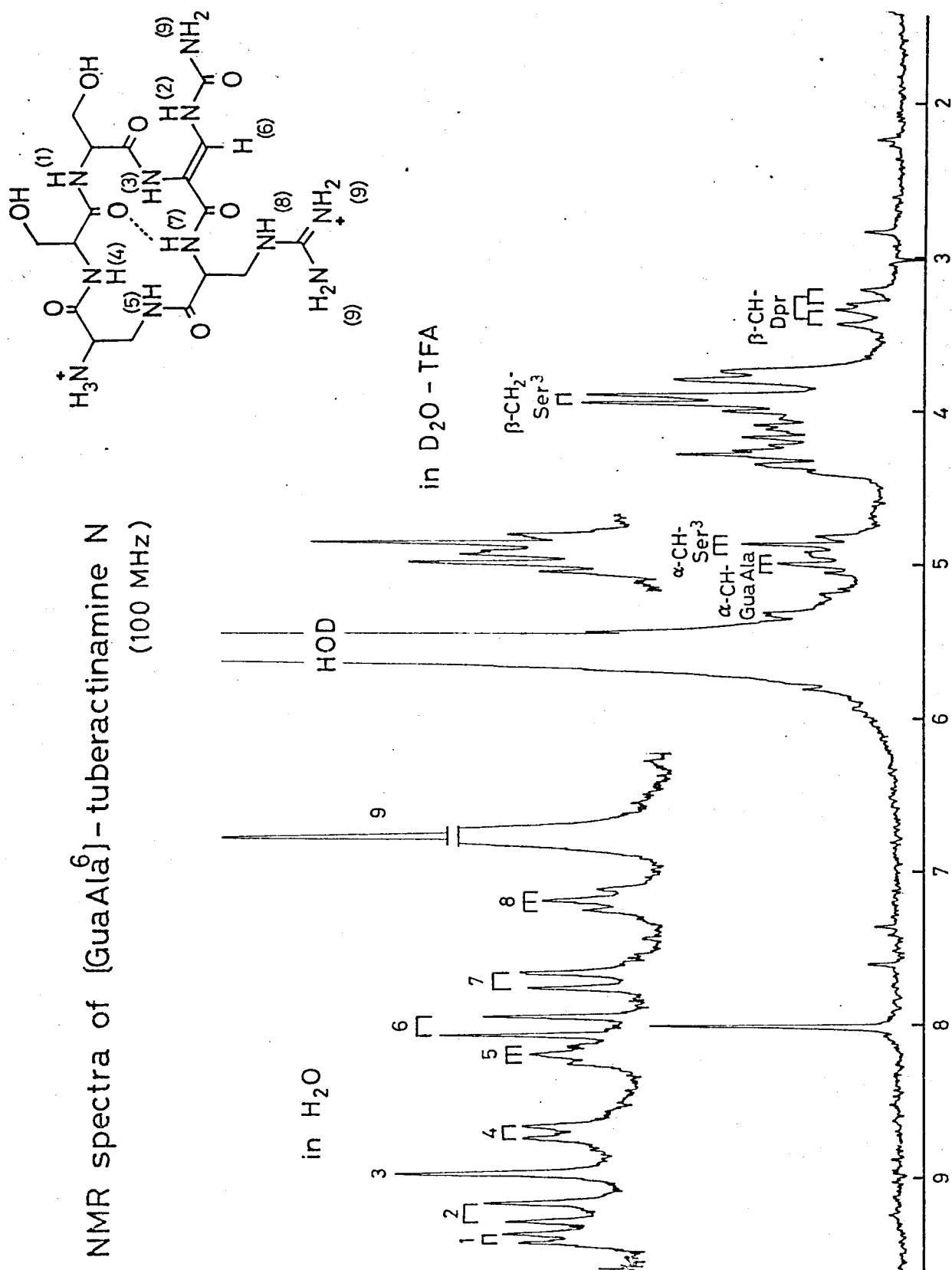


Fig. 4-10

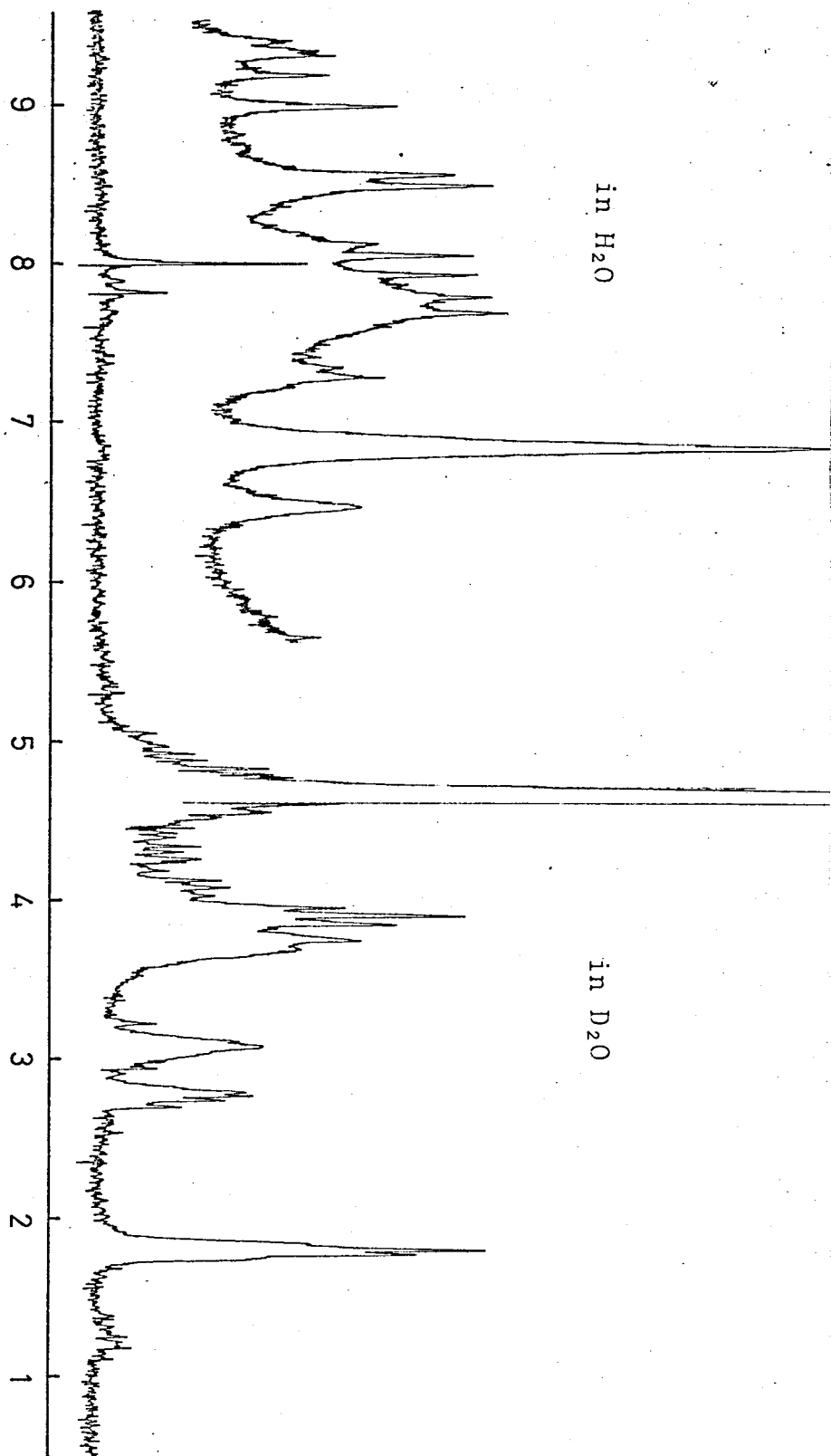
NMR spectra of [Gal⁶]-tuberactinomycin O

Fig. 4-11

Table 4-1. Minimum inhibitory concentrations (mcg/ml) of [Arg⁶]- and [Gal⁶]-tuberactinomycin O^{a)}

Test organism	[Arg ⁶]- Tum O	[Gal ⁶]- Tum O	Tum O
<i>S. aureus</i> MS 353	>100	>100	>100
<i>St. pyogenes</i> 1022	>100	>100	>100
<i>St. agalactiae</i> 1020	>100	>100	>100
<i>C. diphtheriae</i> P.W.8	100	25	6.3
<i>B. subtilis</i> ATCC 6633	>100	50	25
<i>E. coli</i> B	>100	>100	50
<i>K. pneumoniae</i> ATCC 10031	>100	>100	25
<i>S. typhosa</i> H 901	>100	>100	25
<i>Sh. sonnei</i> E33	>100	>100	50
<i>P. vulgaris</i> OX19	>100	>100	50
<i>Mycobacterium</i> ATCC 607	>100	25	6.3

a) Abbreviation; Tum:tuberactinomycin, Gal:β-guanidino-alanine.

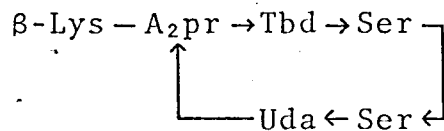
アニジノ基が環状部分に存在することが、抗菌力を増大させる為には何らかの役割を果たしていることも推定される。ペプチド中でのアニジノアラニン残基とカプロレオマイシジン残基を比較した時、前者の側鎖部分がとり得るコンホメーションの自由度は比較的大きいのに対し、後者のそれはかなり限定されている。従ってアニジノ基が環状構造に組み込まれ、ペプチド中で一定のコンホメーションをとることが抗菌力を増大させる上で大きい要因となることが考えられる。

以上のように本実験によって環状ペプチド骨格とアニジノ基との間の空間的位置関係がカプロレオマイシジンの抗菌作用発現に最も重要である事実が初めて認識されたのである。

第5章 抗生物質カプレオマイシンの構造決定と全合成並びに カプレオマイシン類似体の合成とその抗菌作用

5-1 カプレオマイシンの構造決定

カプレオマイシンは1960年 Herr ら¹⁾に発見されて以来、その構造研究は十分には行なわれていなかった。1971年 Bycroft らは彼らの提出した結果的には誤ったバイオマイシンの構造式 (Fig.5-1)²⁹⁾ から類推して、Fig.5-2に示す構造式をカプレオマイシンに与えた。³⁰⁾ しかしこのバイオマイシンの構造式は後に至、若宮らによって訂正されたことから、彼らのカプレオマイシンに対する推定式にも疑問がもたれたので、著者はその構造研究の再検討を開始した。

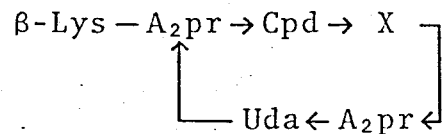


Bycroft's formulus of viomycin

Tbd: tuberactidine

Uda: β -ureidodehydroalanine

Fig.5-1



Bycroft's formula of capreomycin

	X
Capreomycin IA	Ser
IB	Ala

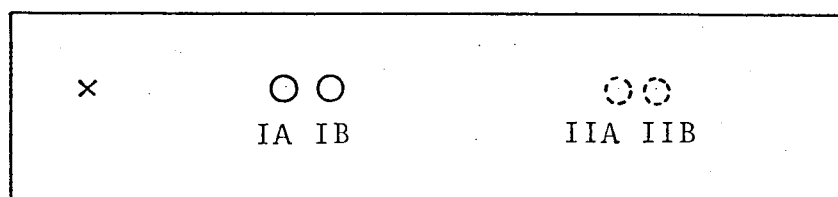
Cpd: capreomycidine

Fig.5-2

Herrらによると、カプレオマイシンには4種の同属体IA、IB、IIA、IIBが存在していて、それぞれのアミノ酸組成はTable 5-1に示す通りである。また永田

Table 5-1. Reported amino acid compositions of
capreomycin congeners

	Ser	Ala	A ₂ pr	Uda	Cpd	β -Lys
Capreomycin IA	1	—	2	1	1	1
IB	—	1	2	1	1	1
IIA	1	—	2	1	1	—
IIB	—	1	2	1	1	—



Silica gel

Phenol-water-c.NH₄OH(30:10:0.6)

Fig.5-3

らはこの全同属体のTLCによる分離同定法を報告している³¹⁾(Fig.5-3)。今回著者が用いた試料は市販“Capastat”(カプレオマイシン硫酸塩製剤)であるが、このものはIA、IB及び微量の不純物の混合物であり、IIA-IIIBは全く含まれていなかった。その含有比は完全水解物中のセリンとアラニンの比から計算して約3:2(IA:IB)であった。

5-1-1 カプレオマイシンIAとIBの分離

少量の試料を用いる場合はFig.5-3で示した溶媒系で調製TLCを行なって両成分を分離した後、各々をSephadex G10カラムを通して精製した。また大量の試料を分離する場合は、Amberlite IRC50カラムクロマトグラフィーによりFig.5-4に示す過程を経て両成分を単離した。いずれも水-メタノール-エタノールより再沈殿を繰り返すと微粒状晶として得ることができた。

Amberlite IRC-50(NH₄ form) column

(2.5x70cm)

AcONH₄ buffer(pH9.0)

Sample: 3.00mg

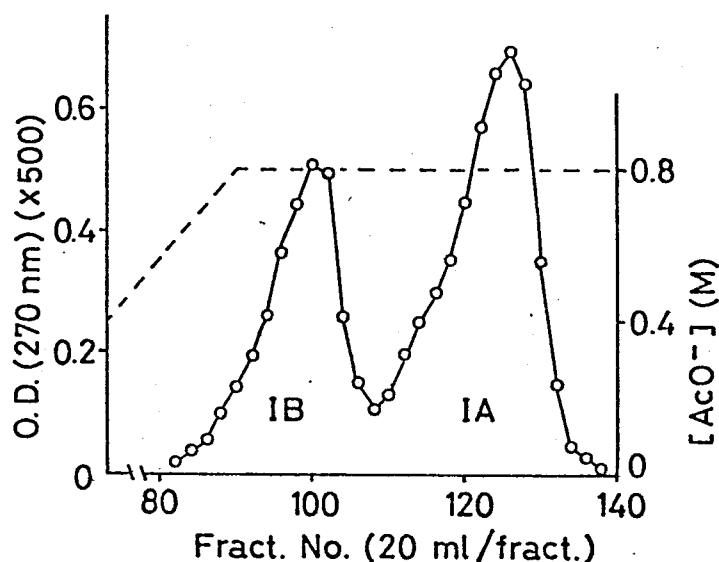


Fig.5-4

Amberlite IRC-50(NH₄)
 ↓ AcONH₄ (pH9.0)
 Amberlite IRC-50(pyridinium)
 1M AcOH
 Neutralized with
 Amberlite IR-45
 Concentrated
 Dissolved in 0.1M HCl
 Precipitated with EtOH
 ↓
 Capreomycin IA or IB

5-1-2 カプレオマイシンの物理化学的性質とアミノ酸組成

カプレオマイシンIA及びIBはTable5-2に挙げた物理化学的性質を示した。両成分のアミノ酸組成に関しては、Table5-2に示した通りHerrらの値¹⁾を確認できた。このうちアラニン、セリン、 α 、 β -ジアラミノプロピオン酸及びカプレオマイシジンの存在比は、カプレオマイシンを6N塩酸で完全加水分解(110℃, 20時間)した後、アミノ酸分析で決定した。 β -リジンはアミノ酸分

Table 5-2. Characterization of capreomycins

	Capreomycin IA	Capreomycin IB
$R_f^a)$	0.25	0.29
m.p. (°C)	246–248(dec)	253–255(dec)
$[\alpha]_D^{22} (c0.5, H_2O)$	-21.9°	-44.6°
UV 0.1N HCl	269 (24,000)	268 (22,700)
λ_{max} H ₂ O	268 (23,900)	268 (22,300)
(nm) (ε) 0.1N NaOH	289 (15,900)	290 (14,400)
	Found Calcd. ^{b)}	Found Calcd. ^{b)}
Elemental C	37.11 37.28	37.87 37.60
H	6.11 6.14	6.38 6.31
N	23.61 23.41	23.76 23.61
Cl	17.20 16.93	16.73 17.07
Amino acid composition ^{c)} (molar ratio)	Ser(1), A ₂ pr(2) Cpd(1), Uda(1) β-Lys(1)	Ala(1), A ₂ pr(2) Cpd(1), Uda(1) β-Lys(1)

a) TLC (Silica gel, phenol-water-c.NH₄OH, 30:10:1)

b) Calcd. for C₂₃H₄₈N₁₄O₈Cl₄ · $\frac{1}{2}$ EtOH (IA) and
C₂₅H₄₈N₁₄O₇Cl₄ · $\frac{1}{2}$ EtOH · $\frac{1}{2}$ H₂O (IB).

Presence of ethanol in the sample was shown in NMR spectrum.

c) Abbreviations; A₂pr:α,β-diaminopropionic acid, Cpd: capreomycidine, Uda:β-ureidodehydroalanine, β-Lys:β-lysine.

析ではアンモニアのピークと重なる為、後述するように、カプレオマイシンのNMRスペクトルにより確認した。またβ-ウレイドテビドロアラニンは酸水解で完全に分解するがカプレオマイシンのUV吸収とNMRスペクトルにおけるオレフィンプロトンの存在から確認できた。

次に右構成アミノ酸の立体配置の決定は、カプレオマイシンの酸水解物のイオン交換クロマトグラフィーにより全アミノ酸を単離し、それらの旋光度を測定する方法を行った。即ち市販カプレオマイシンIA, IB混合物を6N塩酸と共に20時間還流して完全加水分解した後、Amberlite IRC120カラムを通してアミノ酸を分離した。分離パターンをFig. 5-5に示す。塩酸で溶出した場合、セリン、アラニン、カプレオマイシジンは単離できたが、α,β-ジアミノプロピオン酸とβ-リジンが重なって溶出した。これに対しピリジン

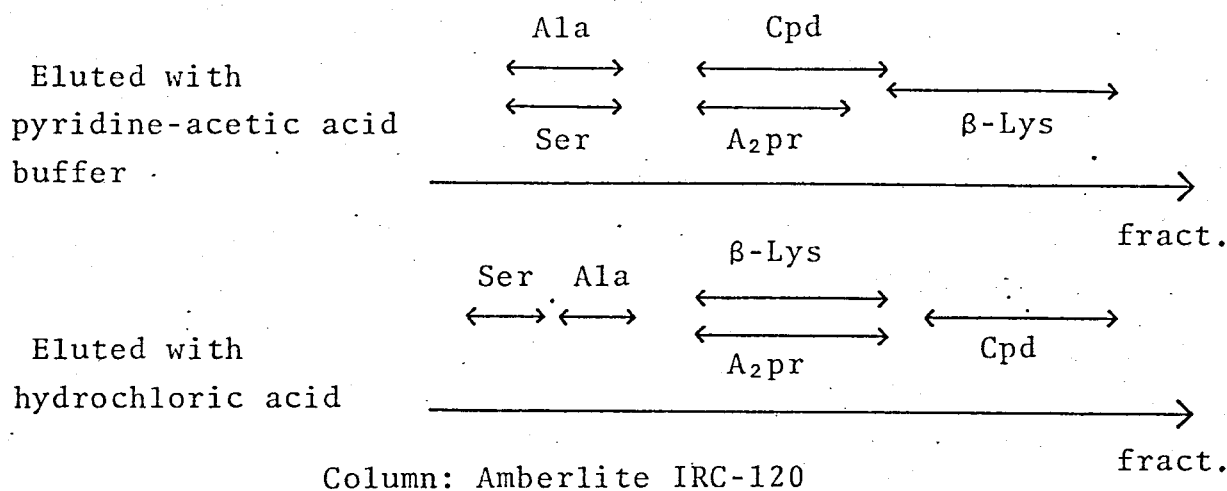


Fig.5-5

酢酸緩衝液による溶出ではセリンとアラニン・カプロオキシジニンと α, β -ジアミノプロピオン酸はそれぞれ重なるが β -リジン単離できた。従ってこの2種類のカラムクロマトグラフィーを併用することにより、カプロオキシジニンの全構成アミノ酸をそれぞれ純粋に得ることができた。Table 5-3にこれらの比旋光度を示す。

なお上記の操作で得た α, β -ジアミノプロピオン酸は完全にラセミ化したものであった。このアミノ酸が熱によりラセミ化しやすいことは経験的に知られていたのを合成標品をその熱によるラセミ化の過程を追跡した(Fig.5-6)。

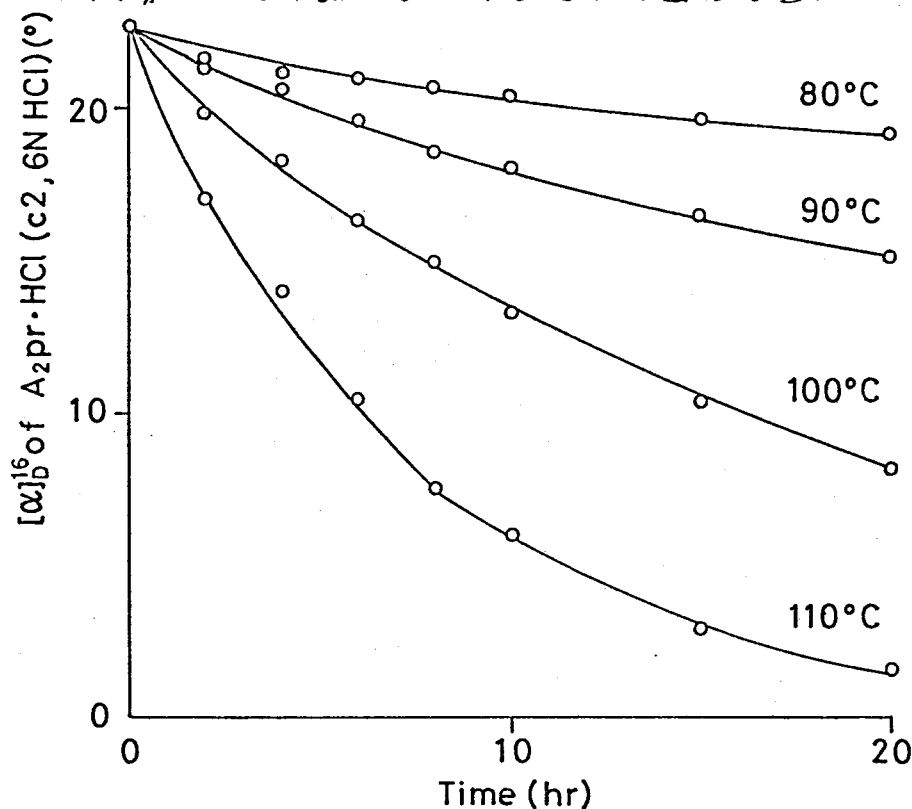


Fig.5-6

この結果、100℃ 5時間程度ではラセミ化の程度が少ないことがわかったので、この条件で改めてカプロオマイシンを水解した後、前述と同じ操作で光学的に純粋な α, β -ジアミノプロピオン酸を単離した。以上の実験結果より、全構成アミノ酸はL型の立体配置を有するという結論を得た。

Table 5-3. Configurations of component amino acids in capreomycin

		Ser	Ala	A ₂ pr ^{b)}	Cpd ^{b)}	β -Lys ^{c)}
[α] _D ^{a)}	Found	+12.7°	+13.3°	+22.1°	+30.0°	+6.3°
	Authentic	+15.1°	+14.7°	+22.3°	+36.1°	+6.4°
Configuration		L	L	L	L	L

a) In hydrochloric acid except for β -Lys (in ethanol).

b) Hydrochloride.

c) HABS salt.

5-1-3 カプロオマイシンの環状ペプチド部の構造

カプロオマイシンのD₂O中でのNMRスペクトルをFig.5-7に、H₂O中でのアミド領域のスペクトルをFig.5-8に示した。

若宮ら³はツベラクチリマイシンの詳細なNMRの研究により、その全同属体は水溶液中でセリン³のC=Oとカプロオマイシジン⁶の α -NHとの間に強い分子内水素結合が存在し、それにより安定な固定したコンホメーションをとっていることを示した。このように構造が類似し、しかも一定のコンホメーションをもつ環状ペプチド部の対応する α -CH及び α -NHプロトンの化学シフトは、ほぼ一定の値を示すことが、天然ツベラクチリマイシン同属体のみならずその合成類似体を含めた例から結論されていた。カプロオマイシンはツベラクチリマイシンとアミノ酸組成が類似しているので、カプロオマイシンの全構成アミノ酸の α -CH及び α -NHがツベラクチリマイシンの対応するプロトンシフトに類似するかどうかをまず検討した。その結果、カプロオマイシンのアミド領域のほとんど全てのシグナル並びにカプロオマイシジン残基及びIAのセリンとIBのアラニン残基における α -CHシグナルの化学シフトが、ツベラクチリマイシンのそれと非常によく対応していることが明らかになった。さらにカプロオマイシジン残基の α -NHシグナルの温度依存性(Fig.5-9)が他のシグナルに比べて小さいことと、その重水交換速度が際立って遅いと

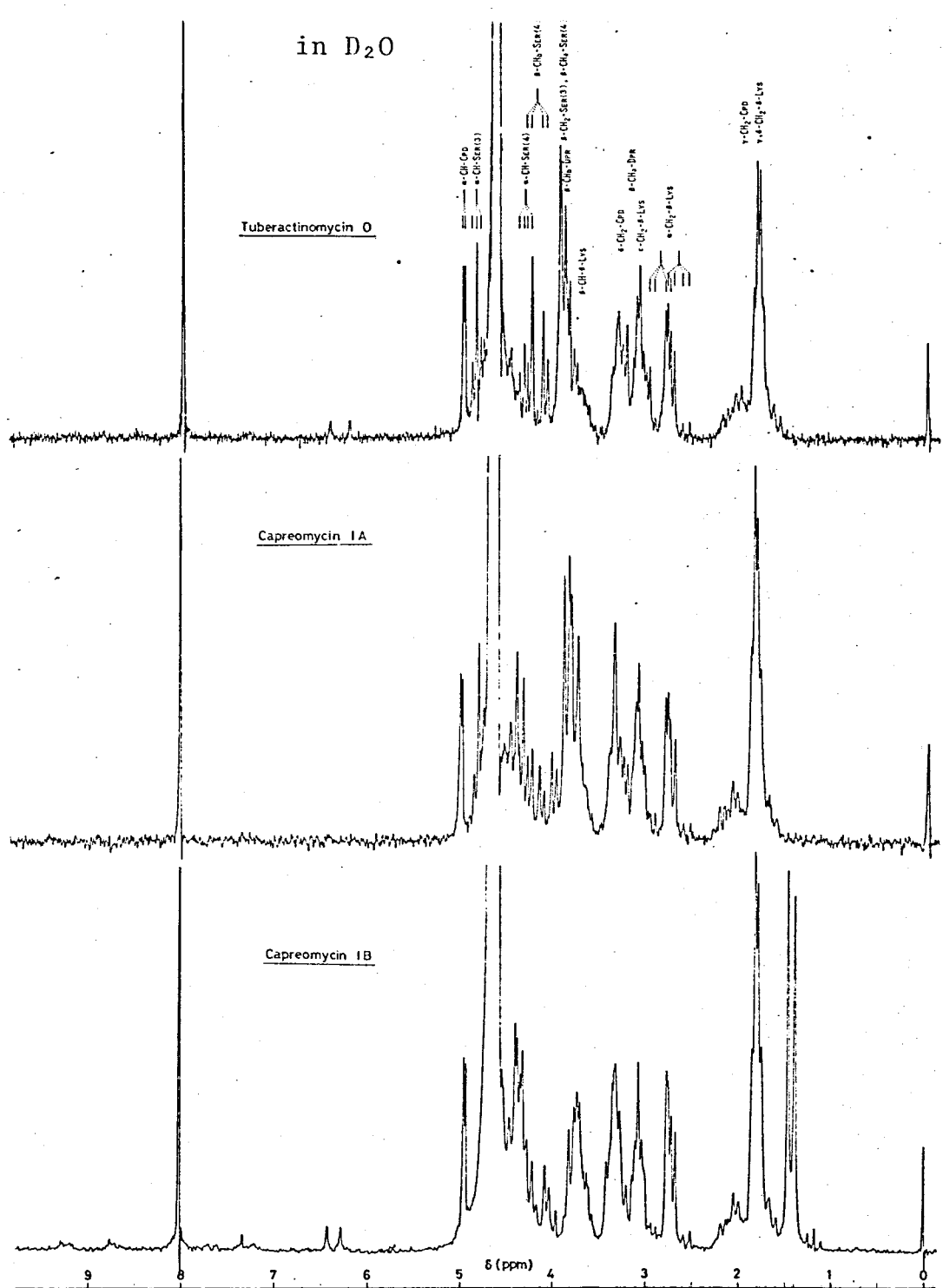


Fig. 5-7

いう事実から、カプレオマイシンにおいてもツベラクチノマイシンにおける
 と同様の分子内水素結合が対応する位置に存在することが明確になった。以
 上の結果、少なくともカプレオマイシンの環状ペプチド部に関しては、Fig. 5-1
 の Bycroft 式は正しくなく、カプレオマイシンもツベラクチノマイシン同様の
 アミノ酸配列から成る環状ペプチド骨格を有し、さらに両者は類似
 のコンホメーションをとっていることが強く示唆された。

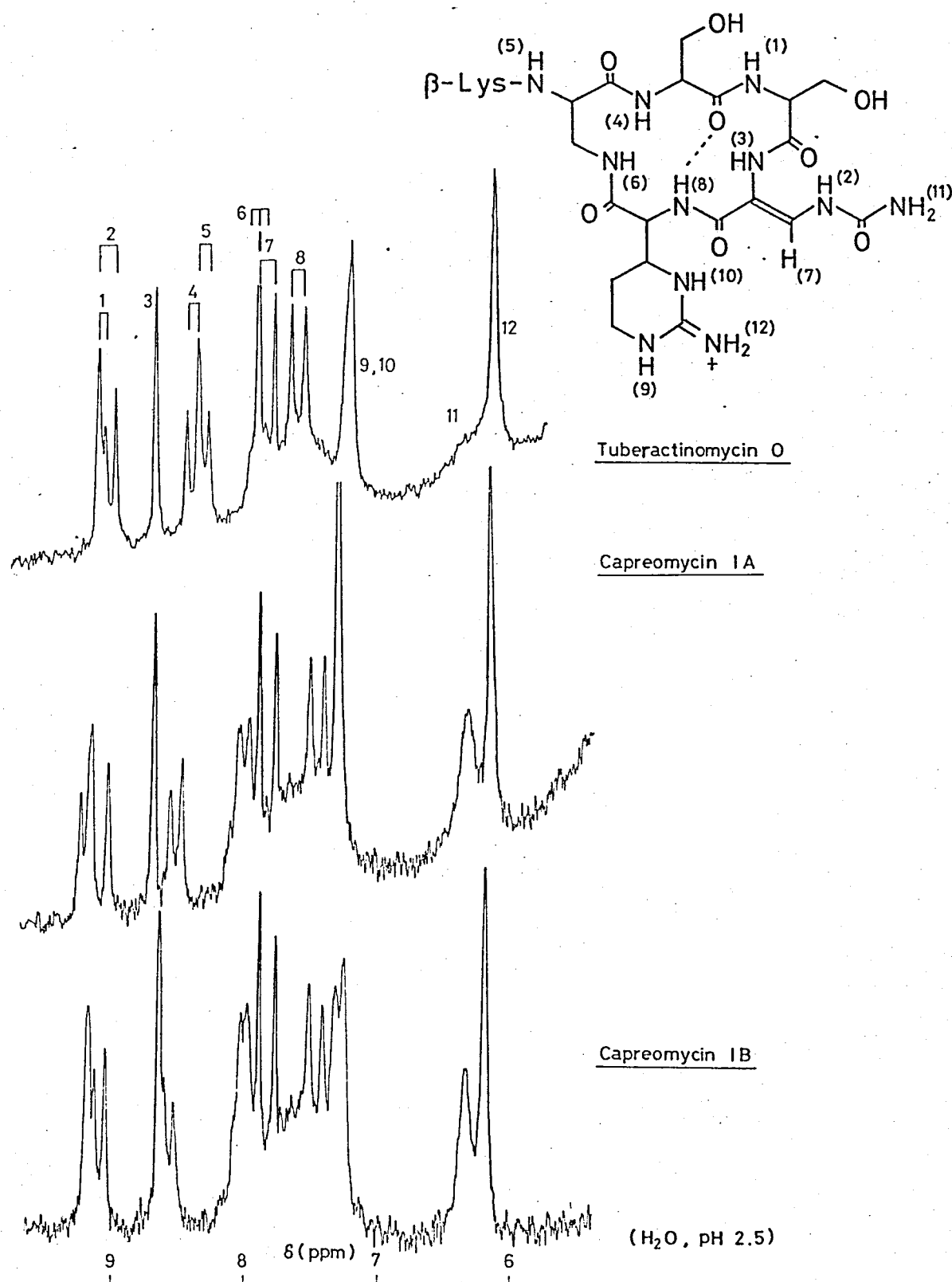


Fig.5-8

これまでの議論及び以下に述べる理由によって、Fig.5-10に示したカプロレオマイシン環状部分の構造が推定された。第3及び第4番目のアミノ酸残基の配列に関しては、ツバテリマイシンの4種の同属体及び前述の3種の構造類似体のNMRと詳細に比較することにより決定した。即ちこれらの化合

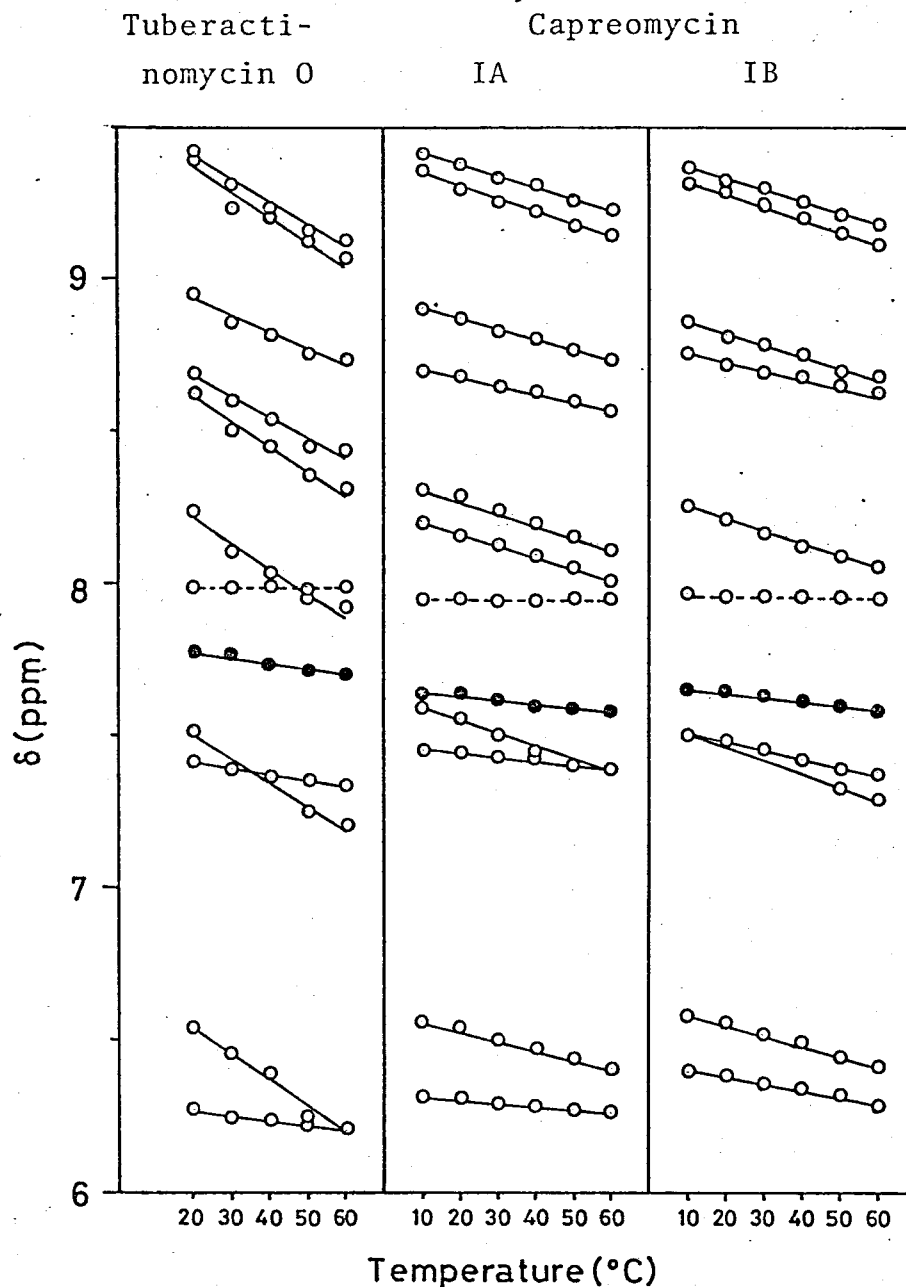
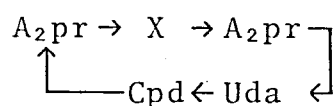


Fig.5-9

物において次の事実が観察されている (Table 5-4)^{16c,32)}。

- (1) セリン³の α -CH はセリン⁴のそれより低磁場シフトしている。
- (2) セリン³の β -CH₂ は doublet として現われているが、セリン⁴のそれは 2 組の double doublet として現われている。



	X
Capreomycin IA	Ser
IB	Ala

The structures of cyclic moieties in capreomycins

Fig.5-10

Table 5-4. Chemical shifts of protons of the third and fourth residues in tuberactinomycins and capreomycins^{a)}

Position of amino acid residue	3	4
	α -CH ^{b)} , β -CH ₂ ^{b)} α -NH ^{c)}	α -CH ^{b)} , β -CH ₂ ^{b)} α -NH ^{c)}
Tum O	4.85(t) 3.90(d) 8.57(d)	4.30(dd) 3.9 (dd) 9.28(d) 4.18(dd)
Tua N	4.84(t) 3.95(d) 8.70(d)	4.32(dd) 3.90(dd) 9.37(d) 4.20(dd)
[Ala ³ ,Ala ⁴]-Tua N	4.55(q) 8.67(d)	4.22(q) 9.17(d)
[Ala ³]-Tua N	4.68(q) 8.78(d)	4.33(m) 3.88(m) 9.31(d) 4.20(m)
[Ala ⁴]-Tua N	4.79(t) 3.90(d) 8.72(d)	4.28(q) 9.27(d)
Cpm IA	4.86(t) 3.84(d) 8.66(d)	4.3- 3.7- 9.32(d) 4.5(m) 4.3(m)
Cpm IB	4.58(q) 8.71(d)	4.2- 3.7- 9.27(d) 4.5(m) 4.2(m)

a) Abbreviations; Tum:tuberactinomycin, Tua:tuberactinamine, Cpm: capreomycin.

b) In D₂O-TFA(4:1).

c) In H₂O(pH2.5).

(3) セリン⁴の α -NH はセリン³のそれより大きく低磁場シフトしている。この現象を利用してカプレオマイシンの第2、3番目の残基を明確に区別できた。

(1) カプレオマイシンIAにおけるセリンの α -CHとIBにおけるアラニンの α -CHの化学シフトは、それぞれツベラクチノマイシン又はその類似体のセリン³、アラニン³のそれによく一致する。

(2) カプレオマイシンIAにおけるセリンの β -CH₂はツベラクチノマイシンのセリン³と同じパターン(doublet)で現われている。一方IA,IBにおいて、ひとつの α,β -ジアミノプロピオン酸の β -CH₂はツベラクチノマイシン及びその類似体におけるセリン⁴と同様に磁氣的に非等価なmultipletとして現われている。

(3) カプレオマイシンIA,IBにおいて、上記 α,β -ジアミノプロピオン酸の α -NHの化学シフトはツベラクチノマイシン及びその類似体のセリン⁴

の α -NHによく一致する。またIAのセリンとIBのアラニンの α -NHの化学シフトは、ツベラクチノマイシン類のセリン³、アラニン³のそれによく一致する。

以上の考察から、結局カプロオマイシンIAはセリン³- α , β -ジアミノプロピオン酸⁴、IBはアラニン³- α , β -ジアミノプロピオン酸⁴の配列を有すると決定できた。

なお環状ペプチド部分の構造決定において最後に問題になるのは、 β -ウレイドデヒドロアラニン残基中の二重結合に関する幾何異性である。3-1節で述べたように、この残基のオレフィンプロトンの化学シフトはE体とZ体で約0.6ppmの差があることが本研究で初めて明らかになった。カプロオマイシンのオレフィンプロトンはほぼ δ 8に現われており、これはX線解析でZ型と決定されているツベラクチノマイシンのそれとよく一致している。従ってカプロオマイシンの β -ウレイドデヒドロアラニン残基もZ型と決定された。

5-1-4 側鎖 β -リジンの結合位置——カプロオマイシンの全構造

最後に残された問題は、分枝部の β -リジン残基がツベラクチノマイシン型をとり環状ペプチド部の α , β -ジアミノプロピオン酸²の α -アミノ基に結合しているか、あるいは α , β -ジアミノプロピオン酸⁴の β -アミノ基に結合しているかということである。Bycroftらは、カプロオマイシンIBを2,4-ジニトロフェニル化(DNP化)後、水解すると β -DNP- α , β -ジアミノプロピオン酸が得られたので、カプロオマイシンの分枝部は α , β -ジアミノプロピオン酸²の α -アミノ基に結合したツベラクチノマイシン形を有していると報告しているが、⁹⁾著者は同じ実験を繰り返した結果、Bycroftらの結果と異なり、DNP-カプロオマイシンIA及びIBのいずれの水解物中にも β -DNP体を認めず、代りに α -DNP- α , β -ジアミノプロピオン酸と紙電気泳動並びにアミノ酸分析(Table 5-5)の結果から確認した。従ってカプロオマイシンの全構造はツベラクチノマイシンのそれと様相を呈し、 α , β -ジアミノプロピオン酸²の α -アミノ基が遊離であり、 α , β -ジアミノプロピオン酸⁴の β -アミノ基に β -リジンが結合していると結論せざるを得なかった。

この意外な結論の正否を判定する為に、さらにNMRの解析並びにEdman分解を行なったところ、次のようなこの推論を支持する新たな情報が得られた。

- (1) ツベラクチノマイシンの α , β -ジアミノプロピオン酸²の α -NHは、

Table 5-5. Amino acid analysis and paper electrophoresis of hydrolyzate of DNP-capreomycin

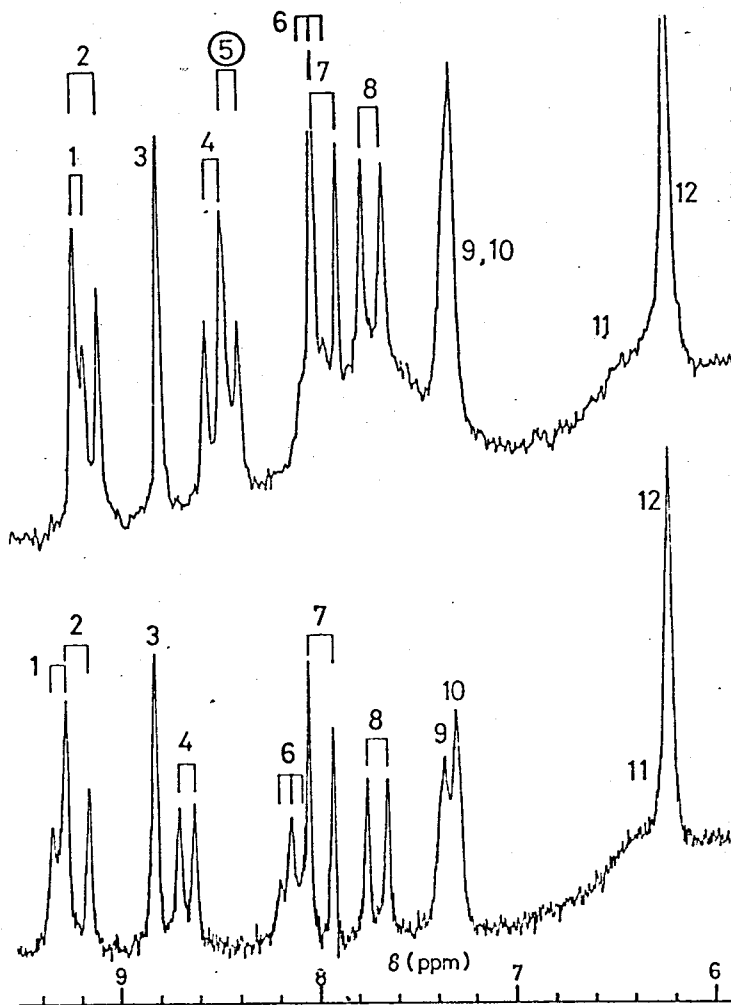
	Amino acid analysis ^{a)} (Retention time, min)	
	Capreomycin IA	Capreomycin IB
Hydrolyzate of DNP-capreomycin	29.0 (N ^α -DNP-A ₂ pr) 31.5 (NH ₃) 41.5 (A ₂ pr) 57.0 (Cpd)	29.0 (N ^α -DNP-A ₂ pr) 31.5 (NH ₃) 41.5 (A ₂ pr) 57.0 (Cpd)
N ^α -DNP-A ₂ pr	29.0	
N ^β -DNP-A ₂ pr	35.0	
	Paper electrophoresis ^{b)} (Migration distance toward cathode, cm)	
	Capreomycin IA	Capreomycin IB
Hydrolyzate of DNP-capreomycin	9.3 (N ^α -DNP-A ₂ pr) 12.2 (Ser) 14.3 (Cpd) 15.5 (A ₂ pr)	9.3 (N ^α -DNP-A ₂ pr) 13.5 (Ala) 14.3 (Cpd) 15.5 (A ₂ pr)
N ^α -DNP-A ₂ pr	9.3	
N ^β -DNP-A ₂ pr	8.5	

a) Column of 9x100 mm and 0.35 N sodium citrate buffer were used.

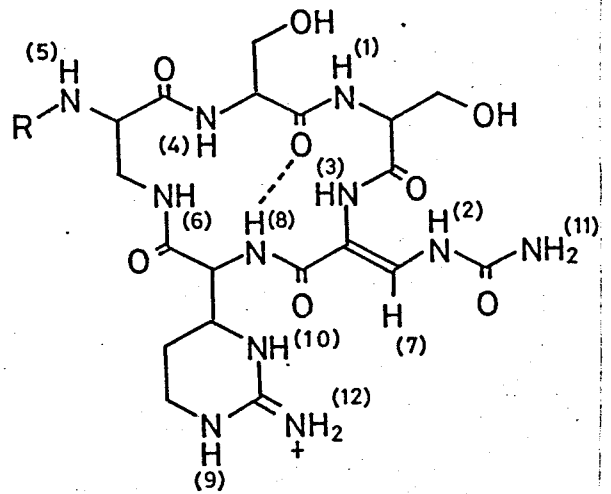
b) A buffer of formic acid-acetic acid-water(50:150:800) was used at 0.80 mA/cm for 130 min.

88.5に現われるが、分枝部β-リジンセクツペラクテナミンNのα,β-ジアミノプロピオン酸²のα-NH₂はアミノ基が遊離状態に変化したためにδ6~10の領域に現われない(Fig.5-11)。カプレオマイシンのNMRにおいても、α,β-ジアミノプロピオン酸²のα-NHは上記の領域に現われていないので、そのα-アミノ基は遊離であると結論される。

(2) カプレオマイシンのH₂O中でのスペクトルにおいて、88.2のdoublet様のシグナルは前述の温度変化の実験の際に実は2組のtripletであることがわかった(Fig.5-12)。このうち片方はα,β-ジアミノプロピオン酸²のβ-アミドであるが、他方のシグナルはtripletであることがわかった。



Tuberactinomycin O
(R=β-Lys)



Tuberactinamine N
(R=H)

Fig.5-11

α, β -ジアミノプロピオン酸²の α -アミドではなく、 α, β -ジアミノプロピオン酸⁴の β -アミドに帰属できる。即ち α, β -ジアミノプロピオン酸の β -アミド基はアシル化されていることを示唆している。

- (3) ツベラクチンマイシンとツベラクチナミンNにおける α, β -ジアミノプロピオン酸²の α -CHの化学シフトを比較すると、この残基の α -アミド基がアシル化されている前者の方が遊離形の後者より低磁場シフトしている。カプレオマイシンにおける α, β -ジアミノプロピオン酸²の α -CHシグナルは、ツベラクチナミンNのそれとよく一致するので、その α -アミド基は遊離であると推論できる(Fig.5-13)。

一方、カプレオマイシンをアセチル化すると、このシグナルはツベラクチンマイシンのそれとよく一致する領域に移動した。また(1)で述べたツベラクチンマイシンの α, β -ジアミノプロピオン酸²の α -NHシグナルとよく一致する位置に doublet が現れた(Fig.5-13)。これらの事実もカプレオマイシンの α, β -ジアミノプロピオン酸²の α -アミド基

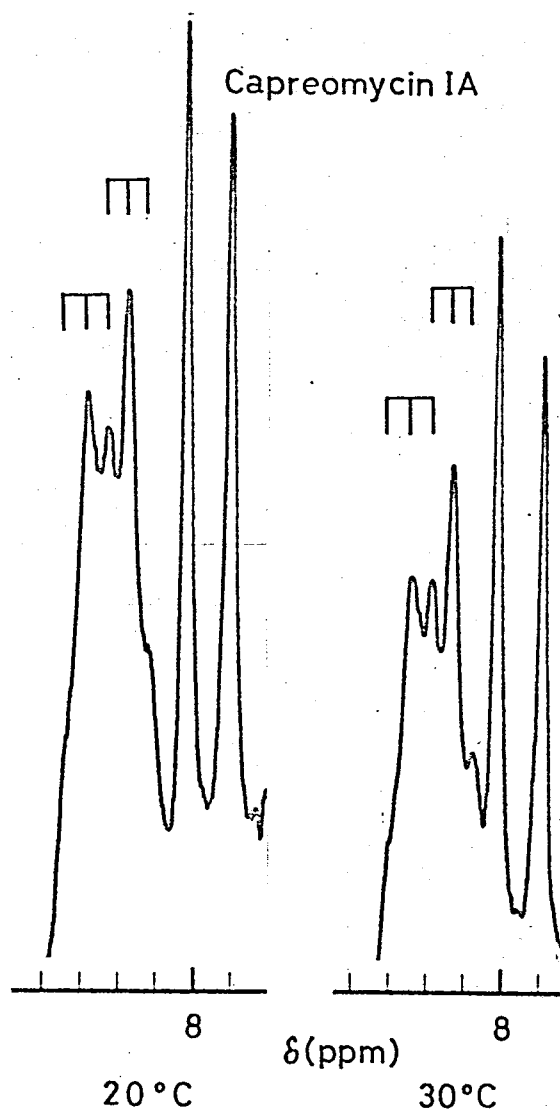


Fig.5-12

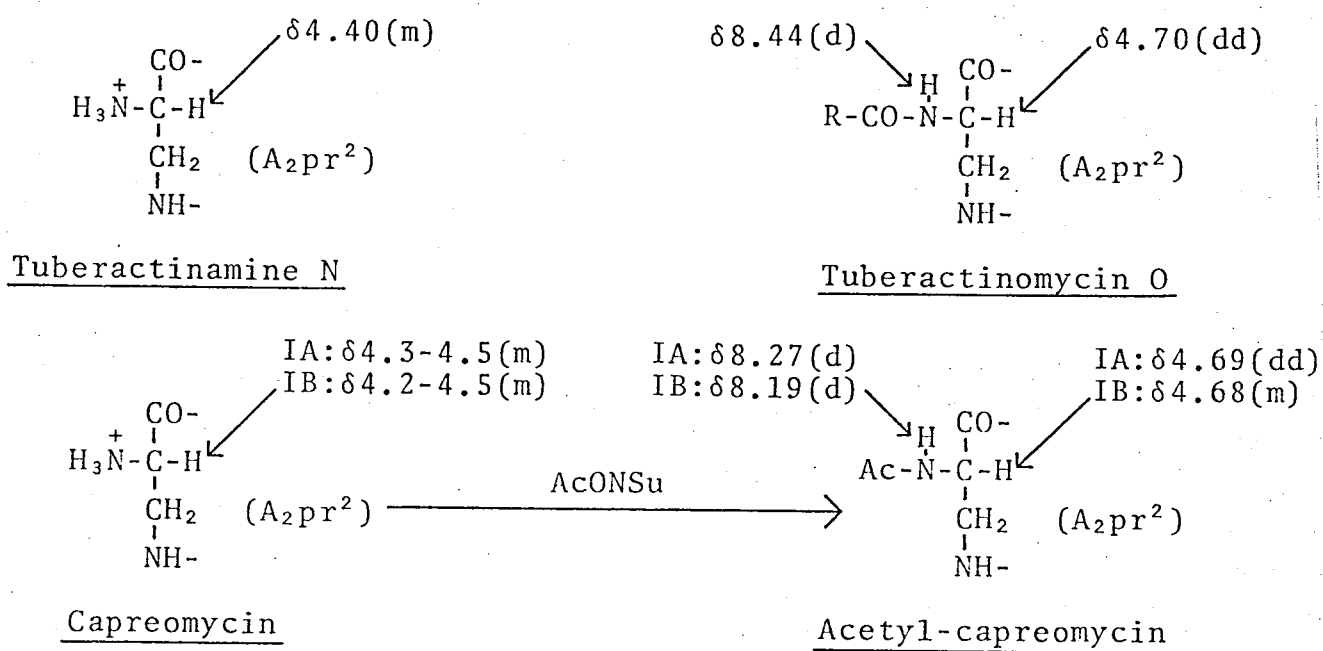


Fig.5-13

が遊離であることを支持する。

- (4) カプレオマイシンIAに関して、 β -ウレイドデヒドロアラニン残基も酸化白金触媒を用いて酸性溶液中でアラニンにまで還元したものに、Edman分解も1段行なった後、ダンシル(DNS)化して水解するとDNS-セリンが検出されたので、セリンのN端側アミノ酸は遊離の α -アミノ基を有していなければならない。なせならばもし α,β -ジアミノプロピオン酸²の α -アミノ基に分枝部が結合していれば、必然的に遊離のアミノ基は α,β -ジアミノプロピオン酸⁴の β -アミノ基のみとなり、Edman分解は進行しないはずであり、かりに進行したとしても1段後のDNS-アミノ酸はセリンではなくアラニンでなければならないからである。以上の結果から、 α,β -ジアミノプロピオン酸²の α -アミノ基が遊離であることをさらに支持された。

以上の結果をまとめて最終的にカプレオマイシンの全構造をFig.5-14に示したように決定できた。

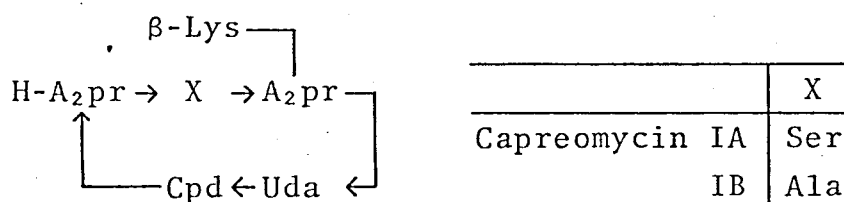


Fig.5-14

5-2 カプレオマイシンIA及びIBの全合成

著者はここに新たに提出したカプレオマイシンの推定式をより確定する為カプレオマイシンIA及びIBの全合成を行なった。ツベラクテリマイシン群ペプチドのうち既にツベラクテリマイシンDの全合成が葦研究室において完成している。カプレオマイシンがツベラクテリマイシンと構造的に異なる点は α,β -ジアミノプロピオン酸が2残基含まれ、しかも両者は異なる結合様式で環状ペプチド部に組み込まれている点であって、ペプチドの延長及び側鎖アミノ酸の導入の際に、これらの保護及び脱保護上の新たな問題が生じることが予想された。以上のように構造決定及び合成法開拓の意義の他に、カプレオマイシンの合成経路の確立は、カプレオマイシンの構造と活性の相関関係を解明する為の様々な類似体の合成の基礎という意味でも重要であると考えられた。

5-2-1 保護環状ベンゾフェノチド部分の合成

カプロオマイシンの保護環状ペンタペプチド部分の合成経路をFig.5-15に示す。 β -ウレイドデヒドロアラニン残基の前駆体として用いる β , β -ジエトキシアラニン(Dea)は、合成の最終段階では立体配置と無関係になるので、ペンタドの環化反応の場合ラセミ化の危険の大きいC端残基として使用した。またこの合成過程で使用したN端側ジペプチド5-6はツベラクチンマイシン

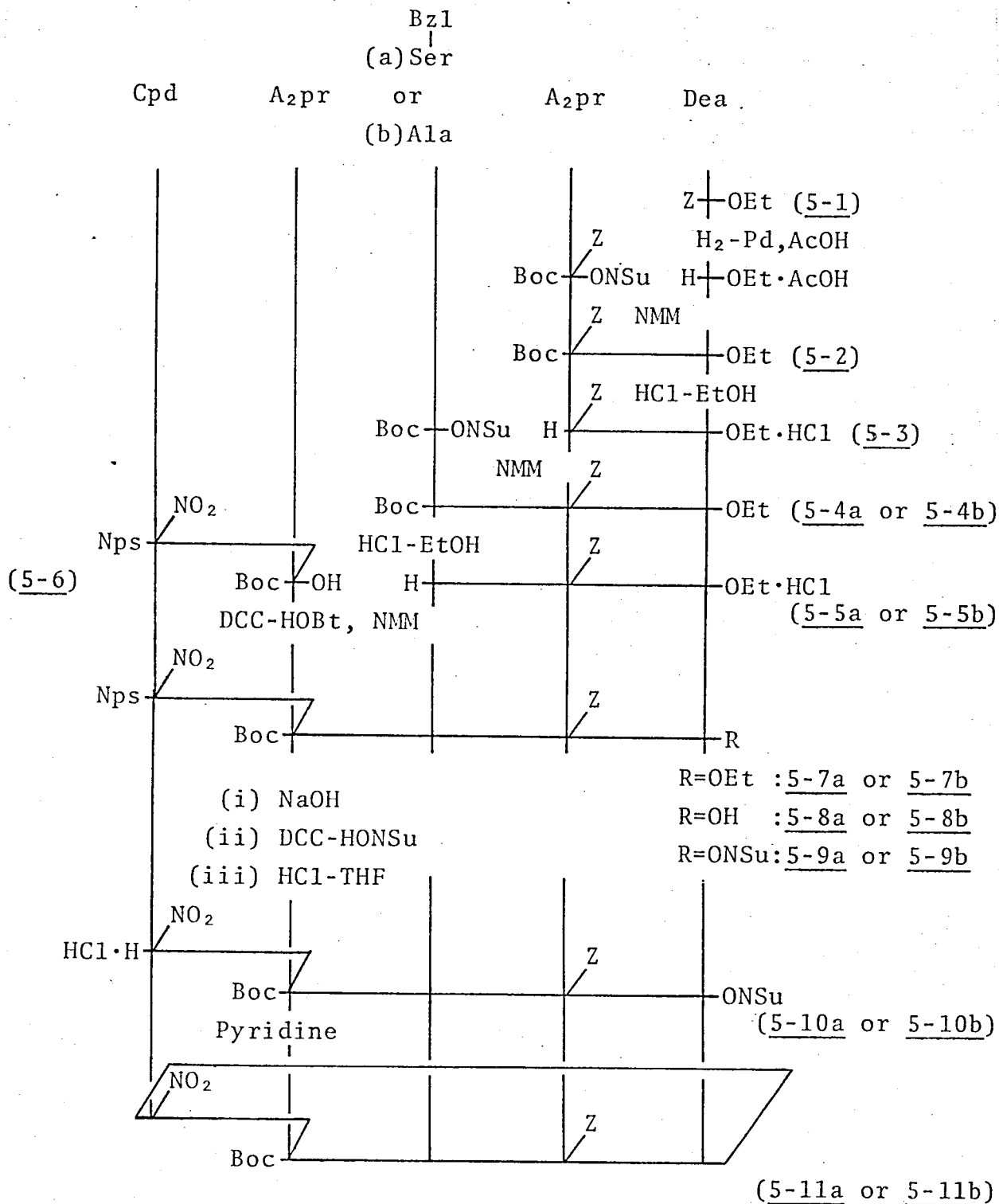


Fig. 5-15

0等の全合成中間体に使ったジペプチドと同一物質である。C端側トリペプチド 5-4a 及び 5-4b の合成に際しては、 α, β -ジアミノプロピオン酸の β -アミノ基をベンジルオキシカルボニル基で保護した関係で、その α -アミノ基の保護基としては、ツベラフテリマイン合成の場合と異なり、カバトキシカルボニル基を用いた。

まず Z -Dea-OEt (5-1) を接触還元により脱ベンジルオキシカルボニル化した後、Boc-Azpr(Z)-ONSu と縮合してジペプチド 5-2 を得た。次にその β -アミド基をTFAで切断し、Boc-Ala-ONSu と縮合したところ、TLC上複雑な混合物を与え、これをシリカゲルカラムで分離すると、目的物は50%程度しか得られなかった。 Z -Dea-OEtをTFA処理するとTLC上多くのスポットを与えたことから、これはジエトキシアラニン残基のアセタールがTFAで分解することが原因と考えられた。この副反応は酢酸エチル又はTHF中の塩化水素処理でも起こったが、アセタールの生成条件でもあるエタノール中の塩化水素もしくはギ酸のような弱酸で β -アミド基を切断する場合は、全く起こらないことがわかった(Fig. 5-16)。このようにして脱 β -アミドカルボニル化したジペプチド 5-3 及びトリペプチド 5-5b は、取り扱い上塩酸塩の方がギ酸塩より良好な性質を示したのでこの脱 β -アミドカルボニル化にはエタノール中塩化水素の条件を用いた。この後処理の時、エーテルを加えても目的物は沈殿せず、一方エタノールを留去するとやはり上記の副反応が起こった。脱保護体を得るには、 β -アミド基切断後、直ちに大量のベンゼンを加え凍結乾燥するのが最も効果的であることがわかった。このようにして得られたジペプチド塩酸塩 5-3 と Boc-Ser(Bzl)-ONSu 又は Boc-Ala-ONSu と縮合して2種のトリペプチド 5-4a と 5-4b を得た。

次にトリペプチド 5-4a 及び 5-4b の β -アミド基を同上的方法で切断し、N端側ジペプチド 5-6 とDCC-HOBT法で縮合して、ペンタペプチド 5-7a 及び 5-7b とした。それらを環化する為には、まずエステルをケン化

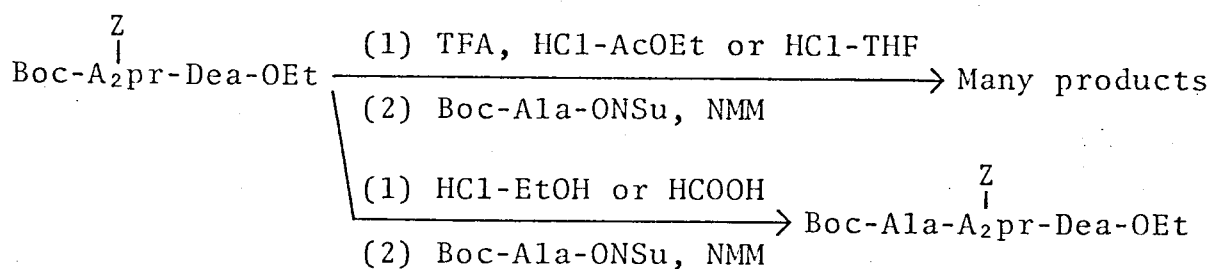


Fig. 5-16

して 5-8a、5-8b とした後、N-ヒドロキシコハク酸イミドエステル 5-9a、5-9b へ導いた。この活性エステルの脱-ニトロフェニルスルフェニル化においても、ジエトキシアラニンの分解が予想されるが、エタノール中塩化水素又はギ酸を使用すると、それぞれエステル交換又はフトキシカルボニル基の部分的脱離は免れ得ない。そこでやむなくTHF中塩化水素の希薄溶液を用い0℃で脱-ニトロフェニルスルフェニル化して、副反応をひきり限り防いだ。こうして得られたペンタペプチド活性エステル塩酸塩 5-10a、5-10b をDMFに溶解し、大量のピリジン中へ長時間かけて滴下し環化した。反応後、ピリジンも留去して得た残渣は、複雑なTLC上のスポットを与え多量体の生成のみならず上述の副反応が起こったことを示したが、シリカゲルカラムクロマトグラフィーによりこれを精製すると、目的物 5-11a を粉末として、また 5-11b を針状晶として、いずれも25%程度のこの種の環化反応としては好収率を得ることができた。各々、元素分析並びにDMFを溶媒とした蒸気圧浸透法による分子量測定により、環状単量体であることを確認した。

5-2-2 側鎖アミノ酸の導入

ツベラフテリマイシン類の全合成においてはツベラフテナミンNを調製した後、 β -リジンが導入されたが、カプロオマイシンの場合はツベラフテナミンNに相当する環状部(カプロオマイシンIIA、IIB)は分子中に2個の遊離アミノ基を有するので、同じ経路でカプロオマイシンIA、IBへ導くことはできない。

α, β -ジアミノプロピオン酸⁴残基の β -アミノ基へ β -リジンを導入する為、環状ペンタペプチド 5-11b の選択的脱ベンジルオキシカルボニル化を試みた。この時もし同時にカプロオマイシジン残基のニトロ基が除去されると、 β -リジン残基導入反応に対して不都合である。その為にニトロ基を残してベンジルオキシカルボニル基のみを選択的に除去する条件を検討したにもかかわらず、いずれの場合にもニトロ基の部分的脱離及び α, β -ジアミノプロピオン酸残基におけるN,N-アシル転移と思われる副反応は避けられなかった。しかしながら環状ペプチド 5-11b の接触還元の際、Boc- β -Lys(Boc)-ONs_uを同時に加えると脱ベンジルオキシカルボニル化と同時に β -リジン残基の導入が進み結果的には上記の副反応を抑えることができた。即ちこの場合、導入されたBoc- β -Lys(Boc)残基の立体障害の為にニトロ基の脱離反応が妨げられたと考

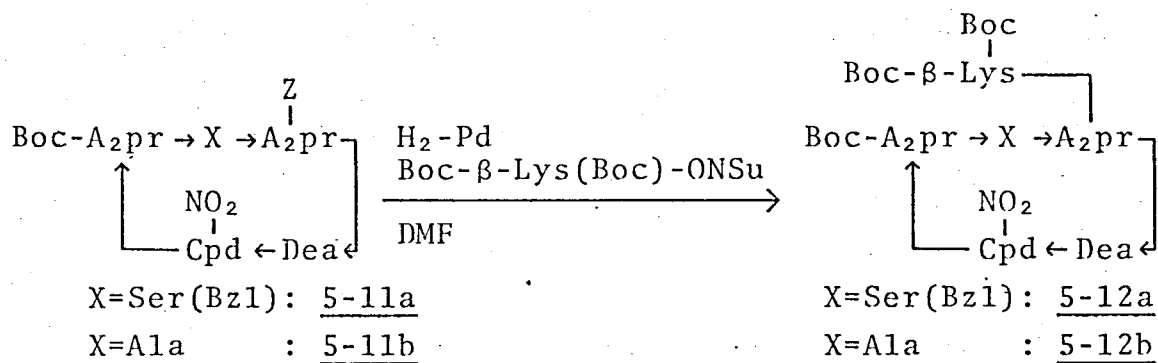
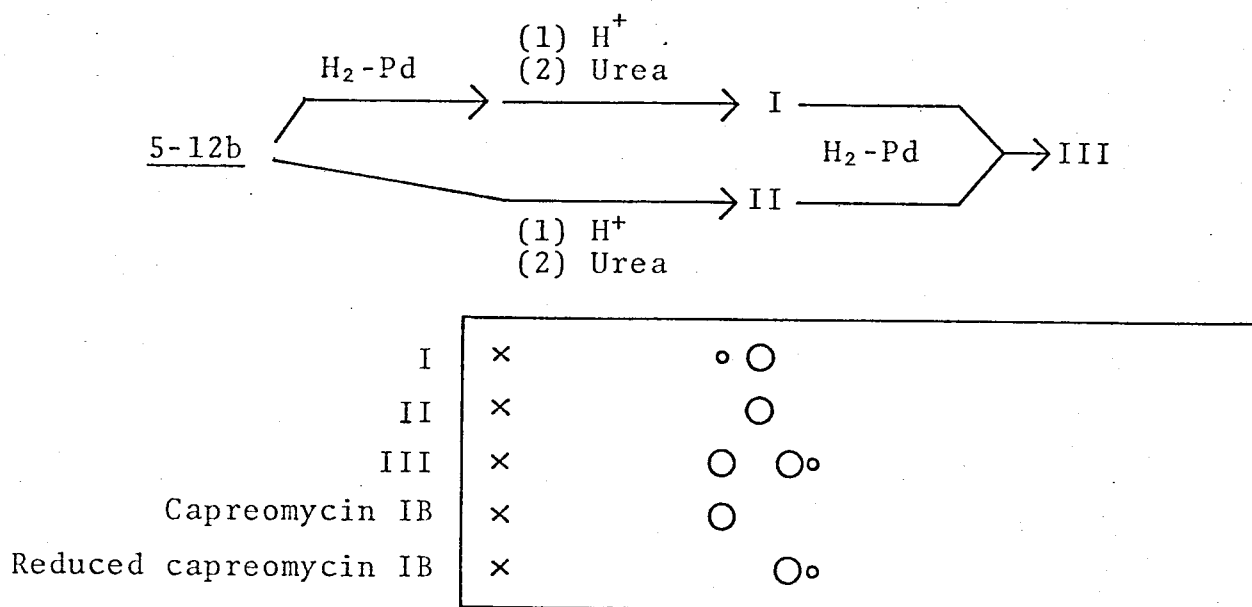


Fig.5-17

えられる(Fig.5-17)。このように保護基の脱離とアミノ酸の縮合を1段階で行なう反応はペプチド合成の分野では他に例が見られない。この手法は例えばジケトピペラジンを形成しやすいジペプチドの脱保護、ペプチド鎖延長等により一般に応用できる可能性があると考えられる。これと同様な操作をペプチド 5-11a にも適用し目的のヘキサペプチド 5-12a を得た。この場合はセリンのベンジル基も全く切断されなかった。

次に全合成の最終段階として分枝ヘキサペプチド誘導体の脱保護及びジエトキシアラニン残基のβ-ウレイドデヒドロアラニン残基への変換を行なった。まず化合物 5-12b についてニトロ基の切断を試みたが不成功であった(Fig.5-18)。これは上で述べたように分子中の3個のβ-トキシカルボニル基の立体障害の影響であり、種々の条件で還元を行なったにもかかわらず、TLC上脱



TLC (Silica gel, phenol-water-c.NH₄OH, 30:10:1)

Fig.5-18

ニトロ体と思われるスポットがごくわずかに現われたのみであった。このように脱ニトロ体の生成は低収率であるにせよ、予備実験的にこのものが目的のカプロオマイシンを与えらるかどうかを調べる為に、上記の反応混合物を常法に従って酸処理後尿素と反応させることにより、脱保護続いてウレイドデヒドロアラニン化を行なった。この結果、Fig. 5-18 に示したように、反応混合物中に天然カプロオマイシンIBとTLC上で完全に一致する化合物が存在することがわかった。なおこの混合物中の主成分は、化合物 5-12b を還元せず脱アトキシカルボニル化、ウレイドデヒドロアラニン化した時の生成物と一致することから、NG-ニトロカプロオマイシンIBであった。

そこで最終生成物の収率の向上を計って、上記の反応で得られた NG-ニトロカプロオマイシンの脱ニトロ化を試みたところ、目的物も得られるが、 β -ウレイドデヒドロアラニン残基の還元された副生成物の生成が認められた。この接触還元を最後に行なう方法は、収率の点で再現性に乏しく、合成カプロオマイシンを得るには満足しうるものではなかった。

以上のように目的物が収率よく得られないのは、カプロオマイシジン残基のニトロ基が効果的に除去できないことが原因であるが、まず化合物 5-12b 中の3個のアトキシカルボニル基による立体障害を取り除いた後脱ニトロ化を行なえば、この問題は解決できるのではないかと考えた。即ち Fig. 5-19 に示したように、化合物 5-12b をまず酸処理してアトキシカルボニル基を切断した後、接触還元すると期待通り短時間でニトロ基に基づくUV吸収が消失した。次にこの生成物を単離することなく、ウレイドデヒドロアラニン化を行なったところ、この場合は副生成物を生ずることなく、目的物 5-13b へ導くことに成功した。ヘキサペプチド 5-12a から全く同じ経路を経て最終生成物 5-13a が高収率で得られた。

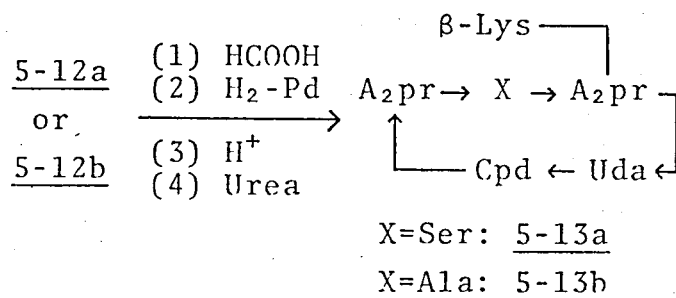


Fig. 5-19

このようにして得られた合成カプレオマイシン IA(5-13a) 並びに IB(5-13b) は Table 5-6、5-7 及び Fig. 5-20~5-23 に示すように、その物理化学的諸性質と抗菌活性において天然物と完全に一致した。β-ウレイドデヒドロアラニン

Table 5-6. Physicochemical properties of the natural and synthetic capreomycin IA and IB

	Capreomycin IA		Capreomycin IB	
	synthetic	natural	synthetic	natural
$R_f^{a)}$	0.25	0.25	0.29	0.29
m.p.(dec)	240-245°	246-248°	250-253°	253-255°
$[\alpha]_D^{22} (c0.5, H_2O)$	-22.0°	-21.9°	-42.5°	-44.6°
UV 0.1N HCl	269 (23,400)	269 (24,000)	268 (22,000)	268 (22,700)
(nm) H ₂ O	268 (23,200)	268 (23,900)	268 (21,900)	268 (22,300)
(ε) 0.1N NaOH	288 (15,800)	287 (15,900)	290 (13,100)	290 (14,400)

a) TLC (Silica gel, phenol-water-c.NH₄OH, 30:10:1)

Table 5-7. Minimum inhibitory concentrations (mcg/ml) of the natural and synthetic capreomycin IA and IB

Test organism	Capreomycin IA		Capreomycin IB	
	synthetic	natural	synthetic	natural
<i>S. aureus</i> ATCC 6538P	100	50	100	100
<i>S. epidermidis</i> sp-al-1	50	50	100	50
<i>St. pyogenes</i> N.Y.5	100	100	100	100
<i>S. lutea</i> ATCC 9341	100	100	100	100
<i>M. flavus</i> ATCC 10240	100	100	100	100
<i>B. subtilis</i> ATCC 6633	12.5	12.5	12.5	12.5
<i>E. coli</i> B	50	50	100	100
<i>S. typhosa</i> H 901	25	25	50	50
<i>S. paratyphi</i> PA 41-N-22	100	100	100	100
<i>S. enteritidis</i> Gaertner	100	50	100	100
<i>Sh. sonnei</i> E33	50	50	100	50
<i>Mycobacterium</i> ATCC 607	6.3	12.5	6.3	6.3

残基のオレフィンプロトンの化学シフトも両者は一致しているの、二重結合に関する異性体のうち天然型の互体が選択的に得られたことが確認された。またアミド領域のNMRスペクトルも合成品は天然物と同じパターンを示すことから、両者はアミノ酸配列のみならずコンホメーションにおいても差がないことが示された。

以上のようにして著者の提出したカプレオマイシンの構造式が決定的に証明されたが、その側鎖アミノ酸の結合場所がツベラクチノマイシン形とは全く異なっていたことは、両抗生物質の生合成機構の観点からも、またこれら抗生物質群の構造活性相関も考える上からも興味ある事実である。後者に関

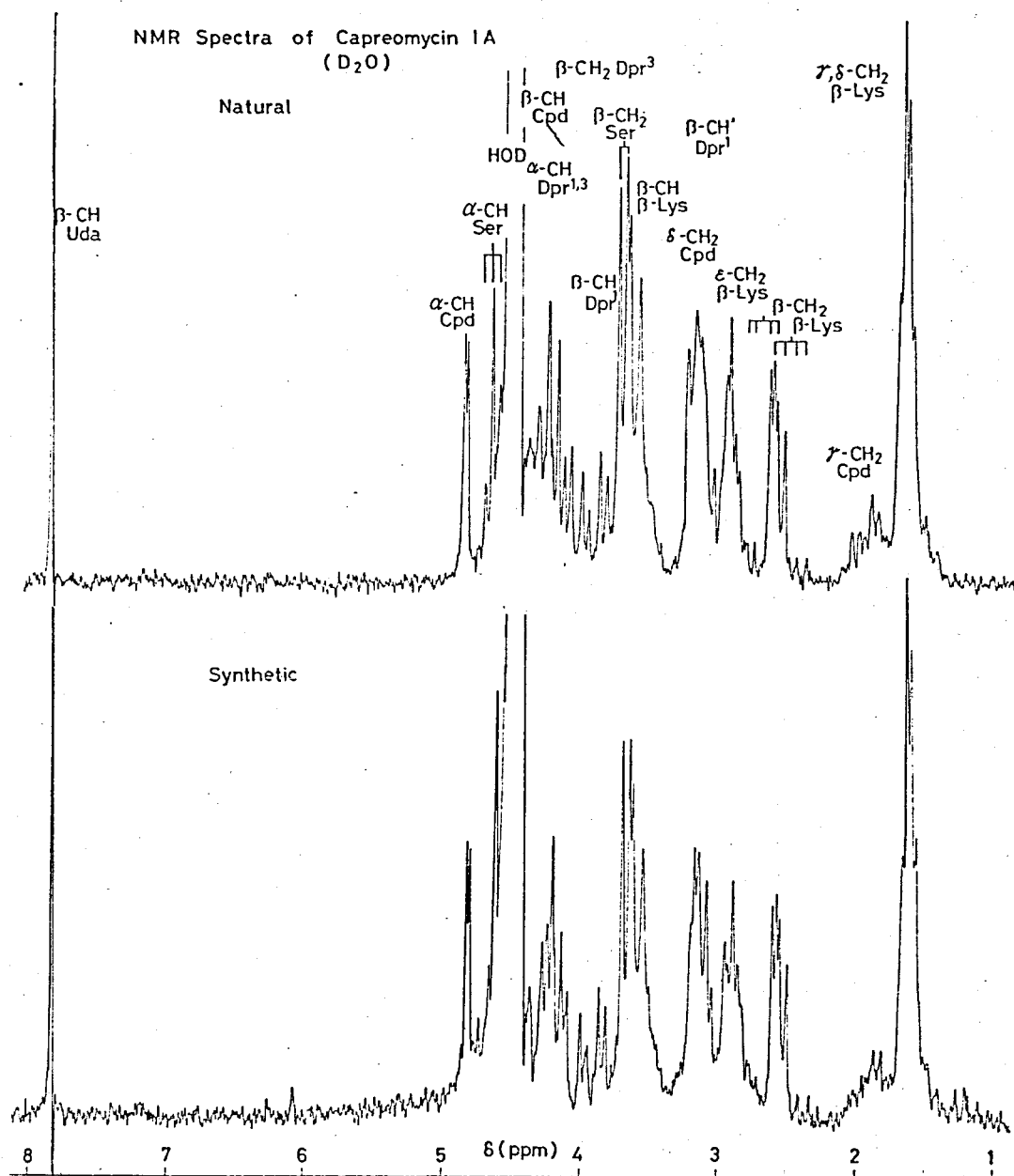


Fig. 5-20

すろ議論は次節のカプレオマイシン類似体の合成の後に述べる。

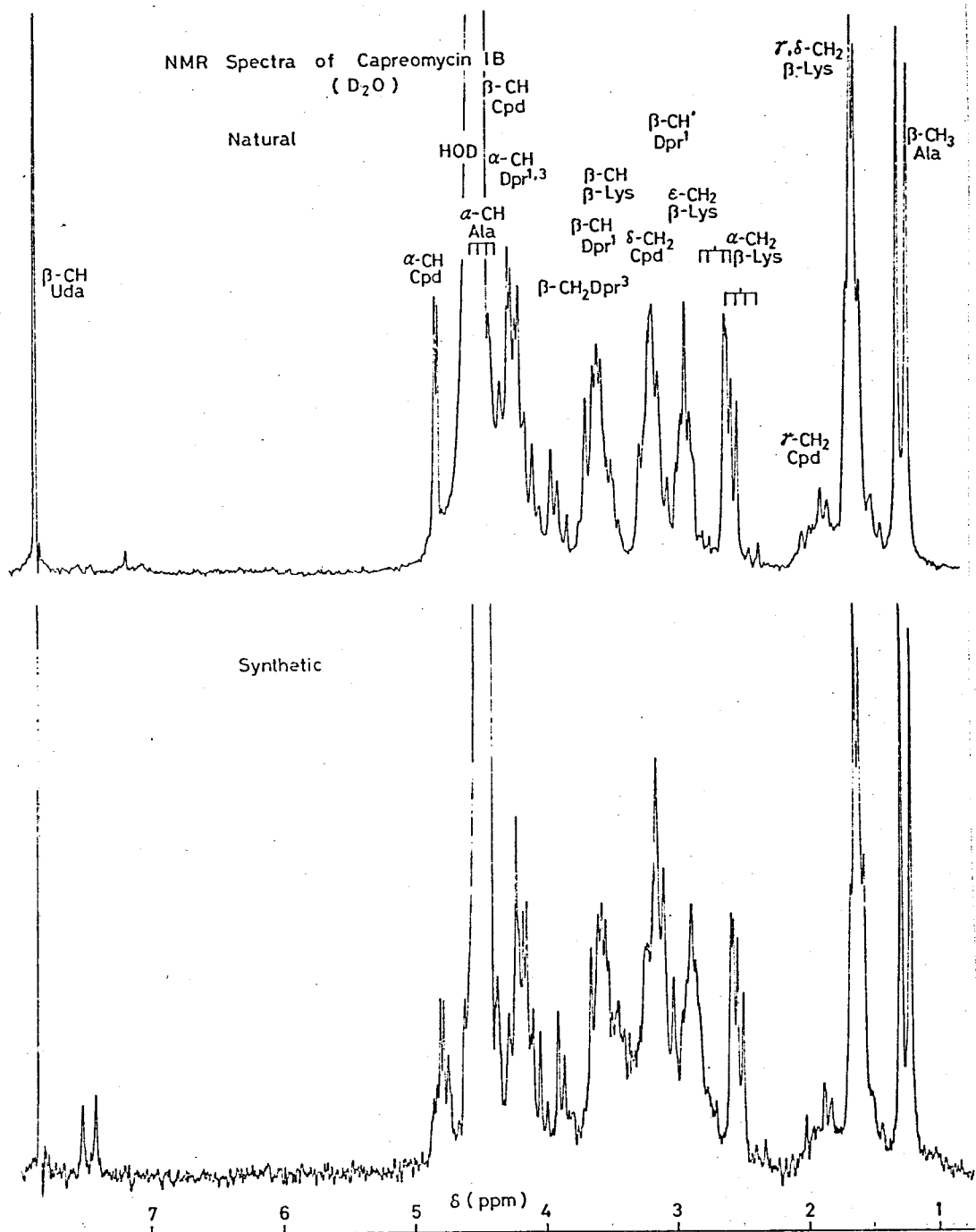


Fig. 5-21

NMR Spectra of Capreomycin 1A
(H₂O, pH 2.5)

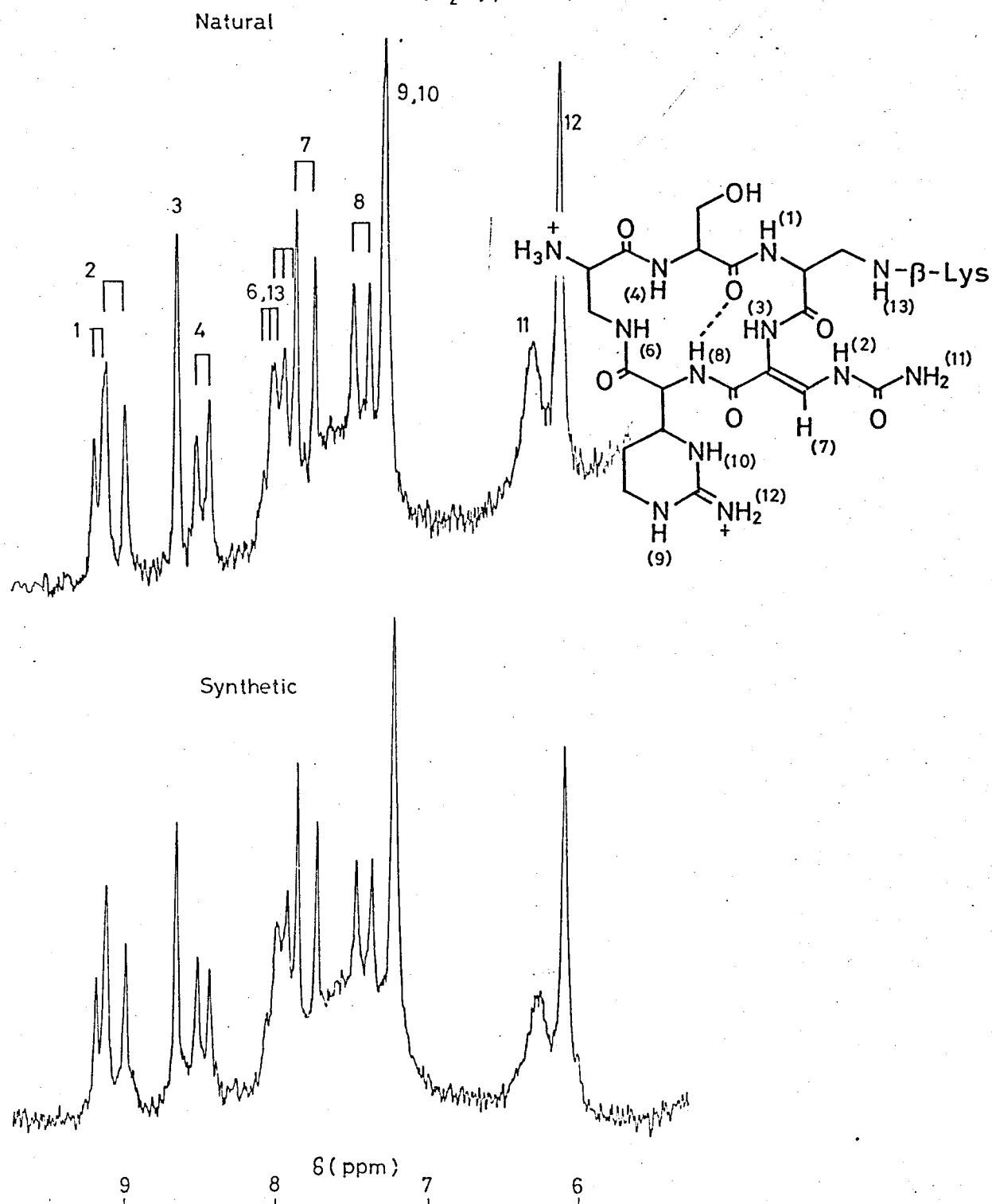


Fig.5-22

NMR Spectra of Capreomycin 1B
(H₂O, pH 2.5)

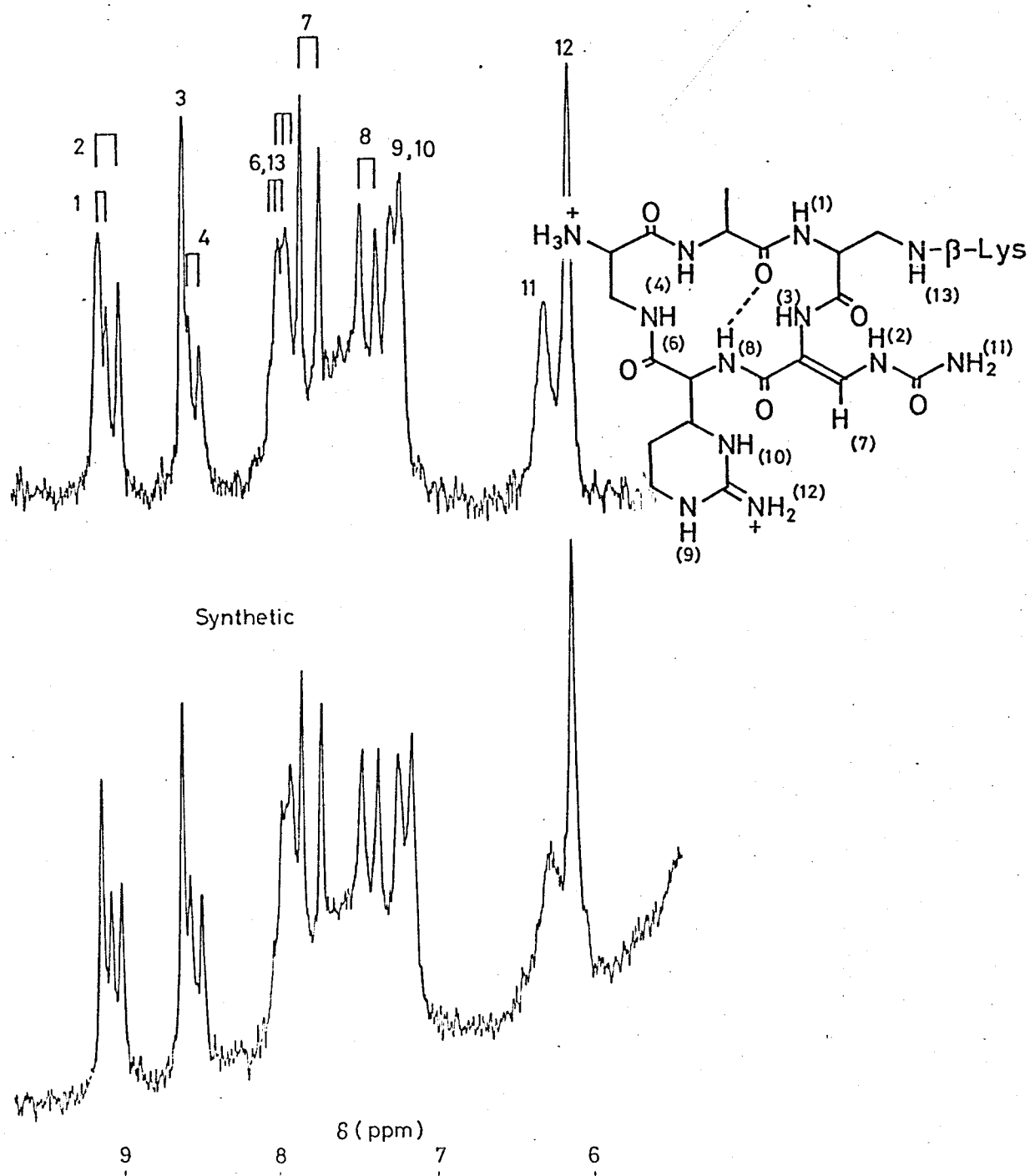


Fig.5-23

5-3 カプレオマイシンの構造類似体の合成

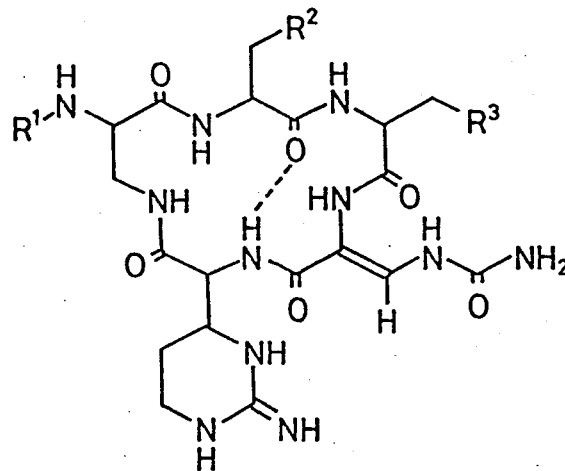
カプレオマイシンとツベラクテリマイシンの構造を比較すると、環状ペプチド部分のアミノ酸配列とコンホメーションは非常に類似しているが、両者は次の二つの点で異なっている。

(1) ツベラクテリマイシンの第4番目のセリン残基がカプレオマイシンでは α, β -ジアミノプロピオン酸に置き換っている。即ち後者は前者よりアミノ基を1個多く有している。

(2) 側鎖アミノ酸の結合場所が両抗生物質で全く異なっている。

この二つの構造上の差異が抗菌力に与える影響を明らかにする目的でFig. 5-24に示した6種のカプレオマイシン類似体を合成した。³³⁾

カプレオマイシンIIA(5-14a)、IIB(5-14b)はカプレオマイシン群の微量成分として天然より得られる同属体であり、それぞれIA、IBの β -リジン残基を欠く環状ペンタペプチドである。注目すべきことには、ツベラクテリマイシンの側鎖アミノ酸を切断して得られたツベラクテナミンNは元のツベラクテリマイシンより明らかに低い抗菌力を示すのに対し、カプレオマイシンIIA-



	R ¹	R ²	R ³
Capreomycin IIA (5-14a)	H	OH	NH ₂
IIB (5-14b)	H	H	NH ₂
Pseudocapreomycin IB (5-15)	β -Lys	H	NH ₂
Reversecapreomycin IIB (5-16a)	H	NH ₂	H
[Orn ⁴]-capreomycin IIB (5-16b)	H	H	CH ₂ CH ₂ -NH ₂
Di- β -Lys-capreomycin IIB (5-17)	β -Lys	H	β -Lys-NH
Tuberactinamine N	H	OH	OH

Fig. 5-24

II B はカプロオマイシン IA、IB やツベラクテリマイシンとほぼ同程度の活性を示すことが知られている。³⁴⁾ ツベラクテナミン N とカプロオマイシン II A も比較すると、前者の第 4 番目セリン残基の水酸基が後者ではアミノ基に変わっている点のみ両者は異なっている。カプロオマイシン II B については、この他に第 3 番目のアミノ酸残基が水酸基のないアラニンである点もツベラクテナミン N と差があるが、第 1 章で述べたように、この水酸基は生理活性にほとんど影響を与えないことがすでに明らかにされている。従ってこのような両環状ペプチドの構造上の比較から、カプロオマイシン II A、II B の第 4 番目アミノ酸残基の β 位アミノ基は特に抗菌活性を増加させる効果を持っていると推論できる。この仮説を確認する為に、カプロオマイシン II A、II B を合成しその生理活性をツベラクテナミン N と同一条件下に測定し比較した。またこれと同じ目的で分枝部 β -リジンが α, β -ジアミノプロピオン酸² の α -アミノ基に結合したツベラクテリマイシン形の β -アミノカプロオマイシン (5-15) の合成を行ない、その活性をツベラクテリマイシン O と比較した。

さらに問題の α, β -ジアミノプロピオン酸⁴ 残基上の β -アミノ基を第 3 残基に移した形のリベースカプロオマイシン II B (5-16a) 並びに第 4 残基の側鎖にナチレンを 2 個挿入した形の β -Orn⁴-カプロオマイシン II B (5-16b) を合成して、それぞれの抗菌活性を調べ、カプロオマイシン構造における遊離アミノ基の位置の重要性を追求した。

分枝部アミノ酸の結合場所の違いが抗菌力に及ぼす影響に関しては、天然ツベラクテリマイシン、カプロオマイシン IA、IB、及び β -アミノカプロオマイシン IB の活性を比較して議論する。またこの問題に関連して、天然抗生物質より強力な活性を示す化合物の創製を試みた。即ちツベラクテナミン N に β -リジンが結合すると抗菌力が増加することは先に述べたが、同じ現象がカプロオマイシンにも現われるならば、カプロオマイシン IB の α, β -ジアミノプロピオン酸² 残基の α -アミノ基にさらにもう 1 残基の β -リジンを導入すればより高活性の化合物が得られることを期待して、ジ- β -Lys-カプロオマイシン II B (5-17) を合成した。

5-3-1 カプロオマイシン II A 及び II B の合成

この 2 種の化合物はカプロオマイシン IA 及び IB の全合成中間体である保護環状ペンタペプチド 5-11a 及び 5-11b の脱保護次いでウレイドデヒドロアラ

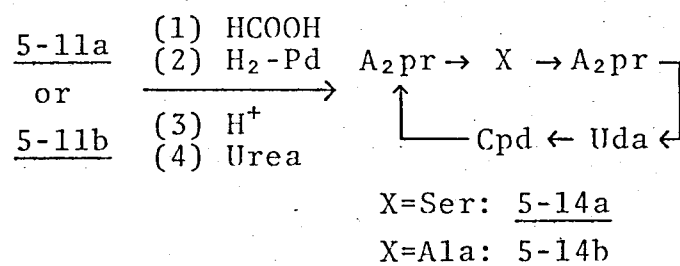


Fig.5-25

ニン化を経て高収率で得ることができた (Fig. 5-25)。生成物の NMR スペクトルを Fig. 5-26、5-27 に示した (5-3 節で合成した化合物のスペクトルは 5-3-4 節の後にまとめて示してある)。

5-3-2 フソイドカプロオマイシン IB の合成

Fig. 5-28 に示すように、前に合成したペプチド 5-11b の α-アミノカルボニル基をギ酸で切断し、Boc-β-Lys(Boc)-ONSu と縮合した後、カプロオマイシン IB の場合と同様な操作でフソイドカプロオマイシン IB へ導いた。この化合物は Fig. 5-29 に示す NMR スペクトルを与えた。

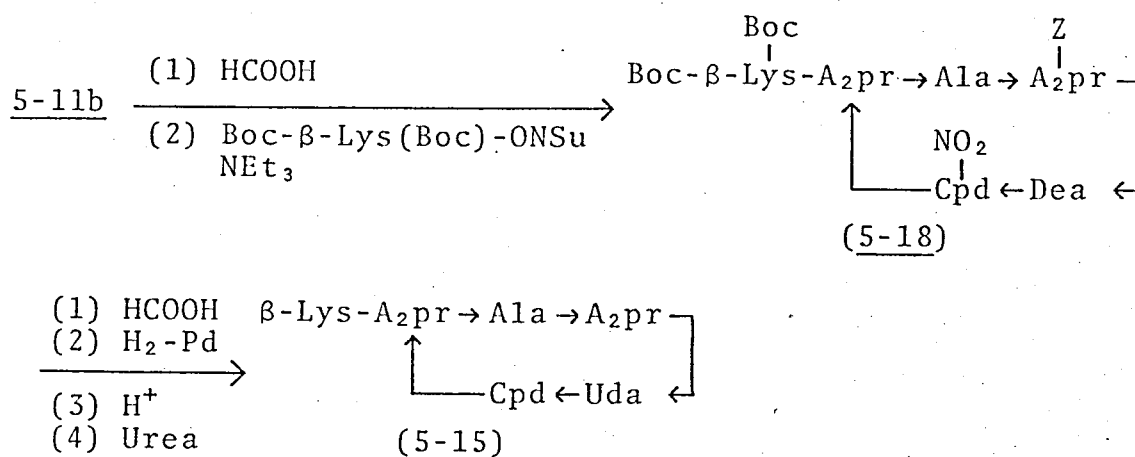


Fig.5-28

5-3-3 リボースカプロオマイシン IB 及び [Orn⁴]-カプロオマイシン IB の合成

Fig. 5-30、5-31 にこの 2 種の化合物の合成経路を示した。カプロオマイシン IB の合成と同様にして、保護環状ペンタペプチド 5-24a、5-24b を調製し、これらを常法に従い、Fig. 5-32、5-33 の NMR スペクトルを示す生成物を得た。

5-3-4 ジ-β-Lys-カプロオマイシン IB の合成

この化合物は Fig. 5-34 に示す二つの経路で合成した。

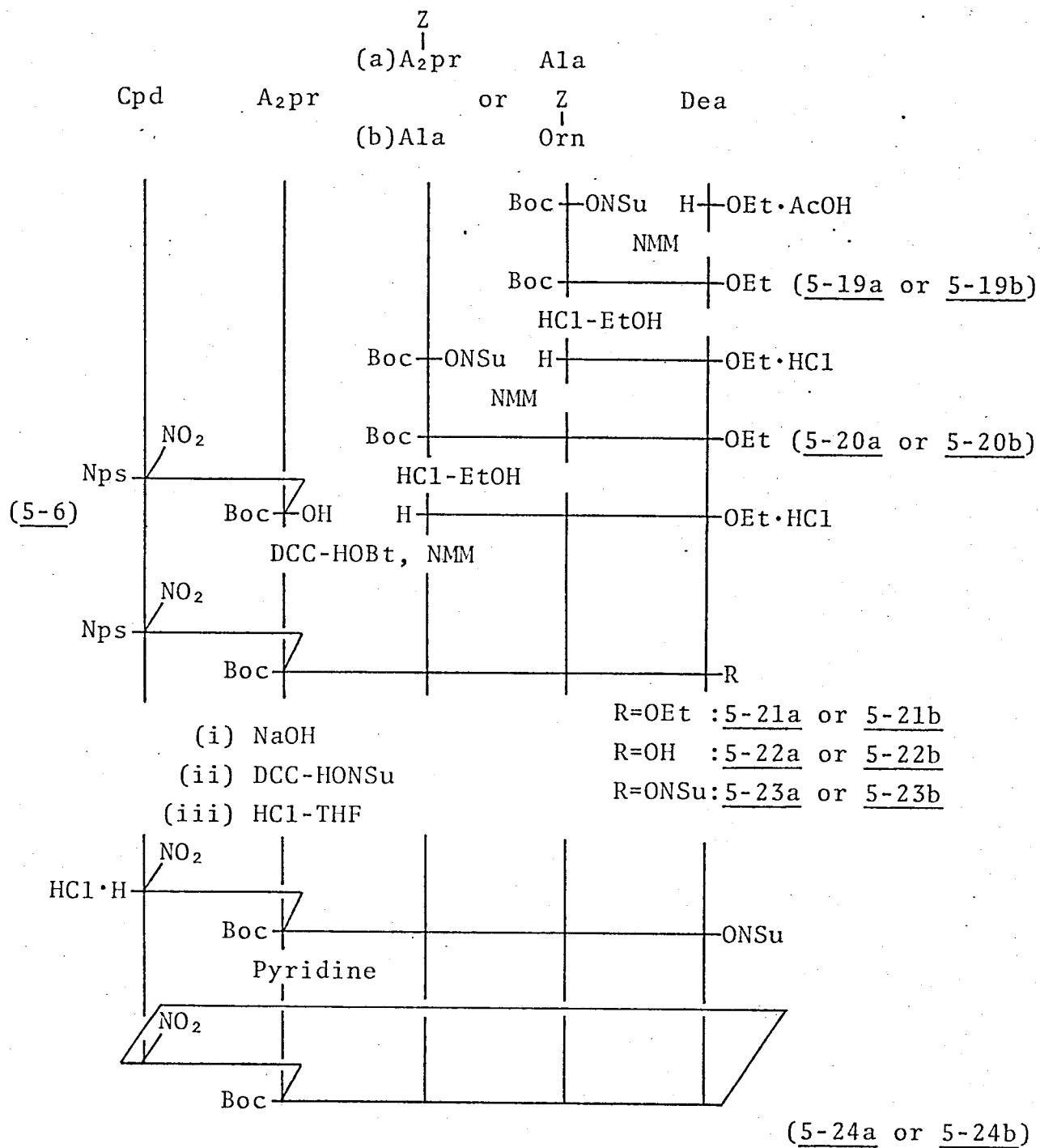


Fig. 5-30

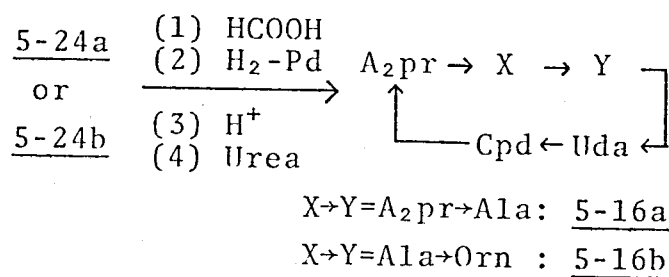


Fig. 5-31

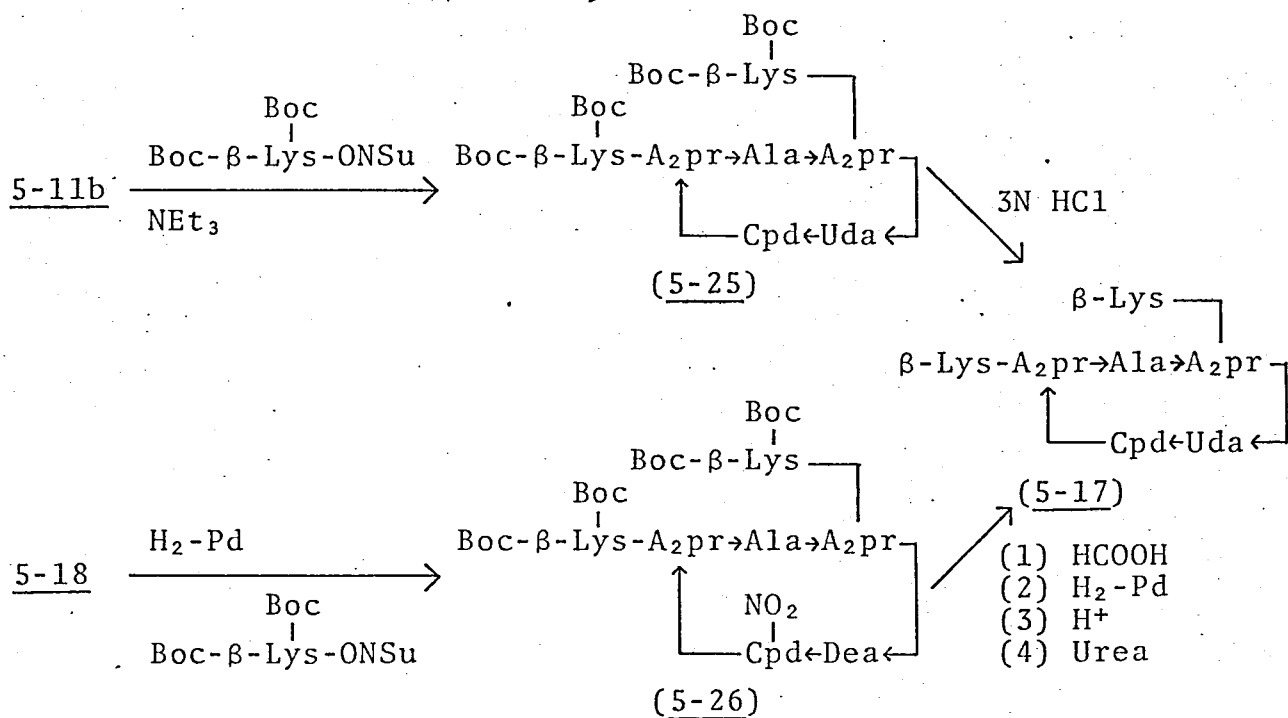


Fig.5-34

- (1) カプロオマイシンIB分子中の2個のアミノ基に活性エステル法で、Boc-β-Lys(Boc)残基を導入し、次いで3N塩酸で4個のボトキシカルボニル基を一挙に切断して目的物を高収率で得ることができた。
- (2) フソイドカプロオマイシンIBの合成中間体5-18とBoc-β-Lys(Boc)-ONSu存在下に接触還元して、保護ヘフタペプチド5-26を得た。次いで常法により目的物へ導いた。

上記二つの経路による生成物はTLCで完全に一致した。そのNMRスペクトルをFig.5-35に示した。

(1)の経路は反応操作が簡単な点で有利であるが、(2)の経路に従うと二つの分枝部アミノ酸の種類が異なる化合物を合成することも可能である。

NMR spectra of capreomycin IIA

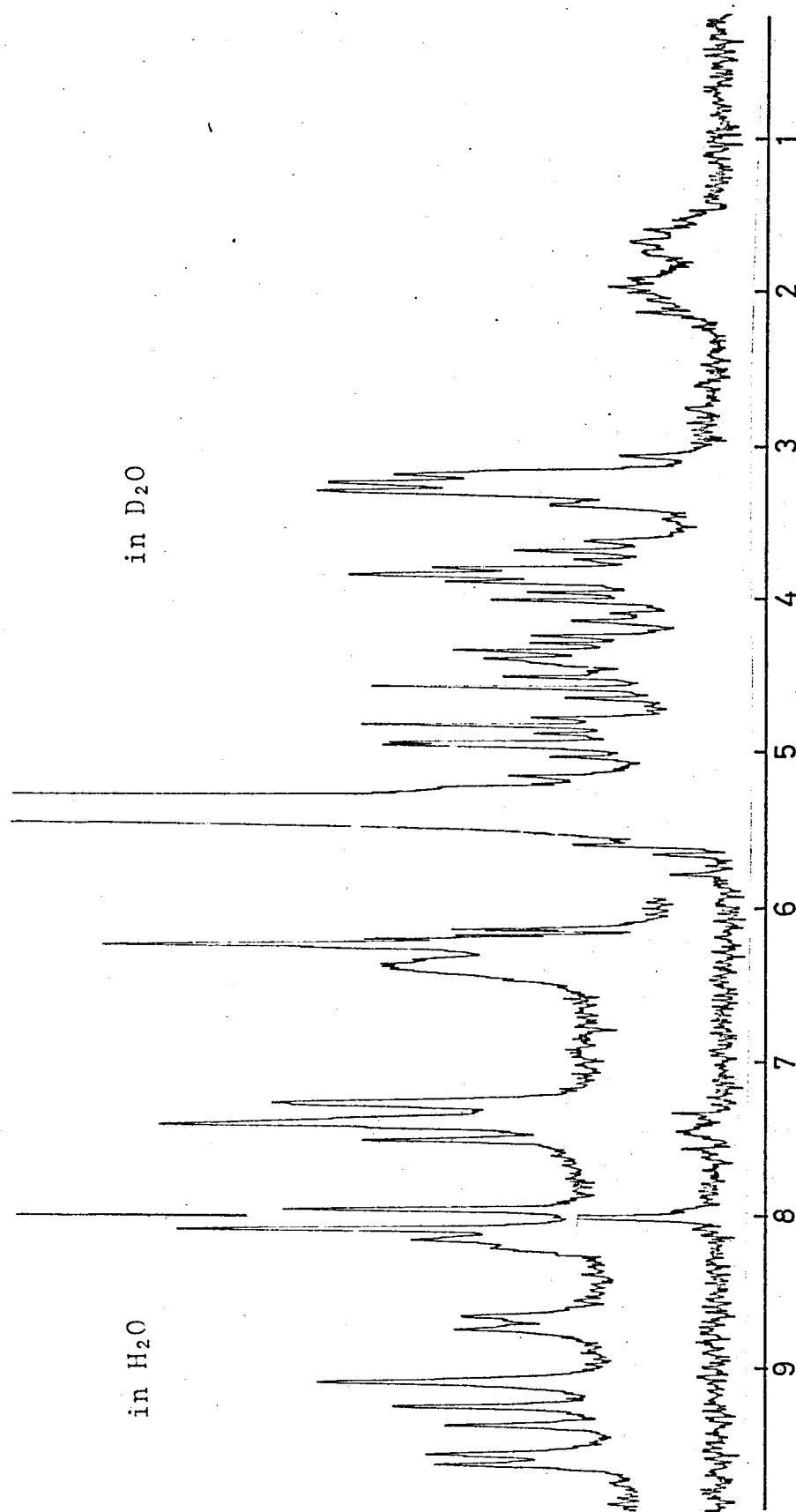


Fig. 5-26

NMR spectra of capreomycin IIB

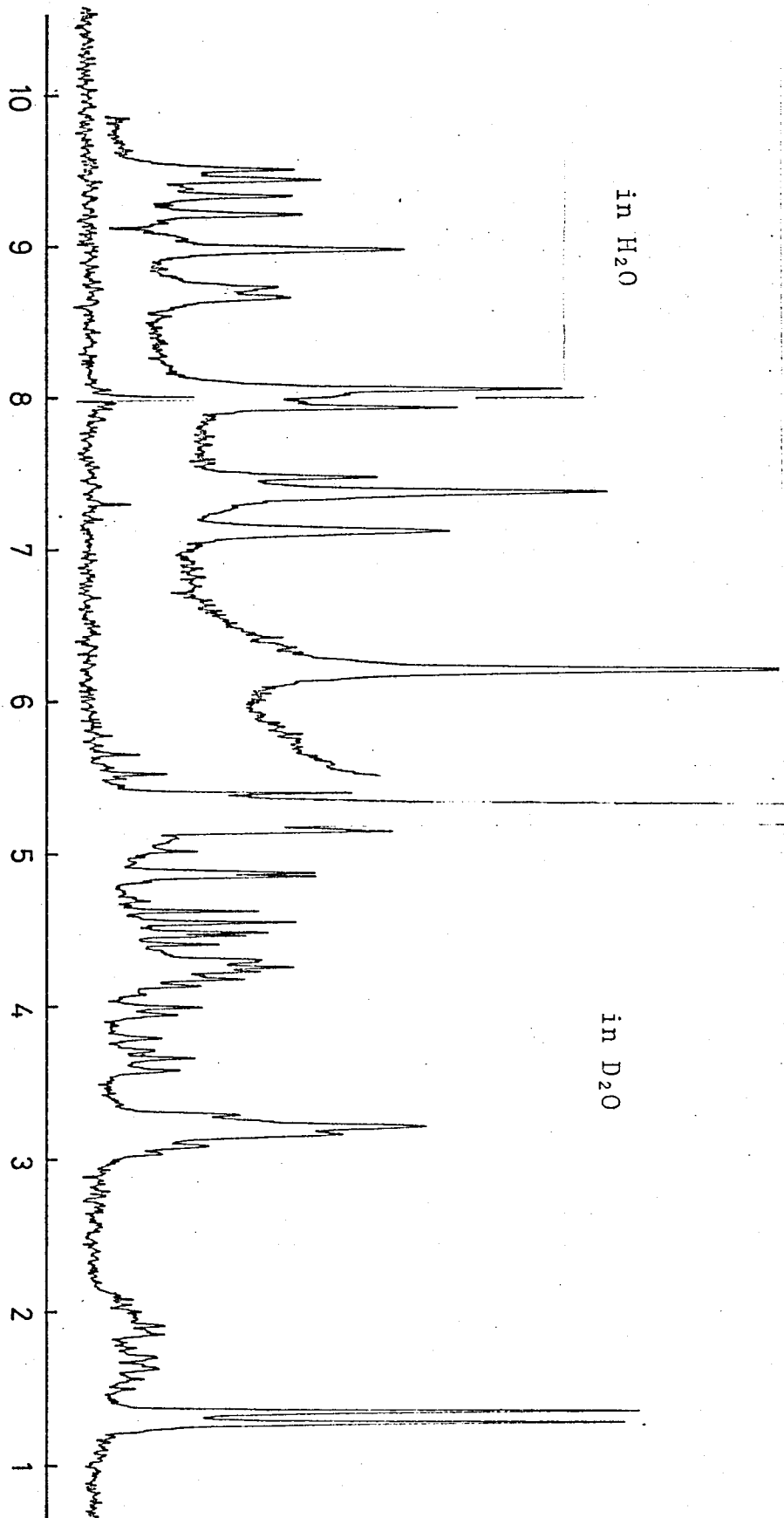


Fig. 5-27

NMR spectra of pseudocapreomycin IB

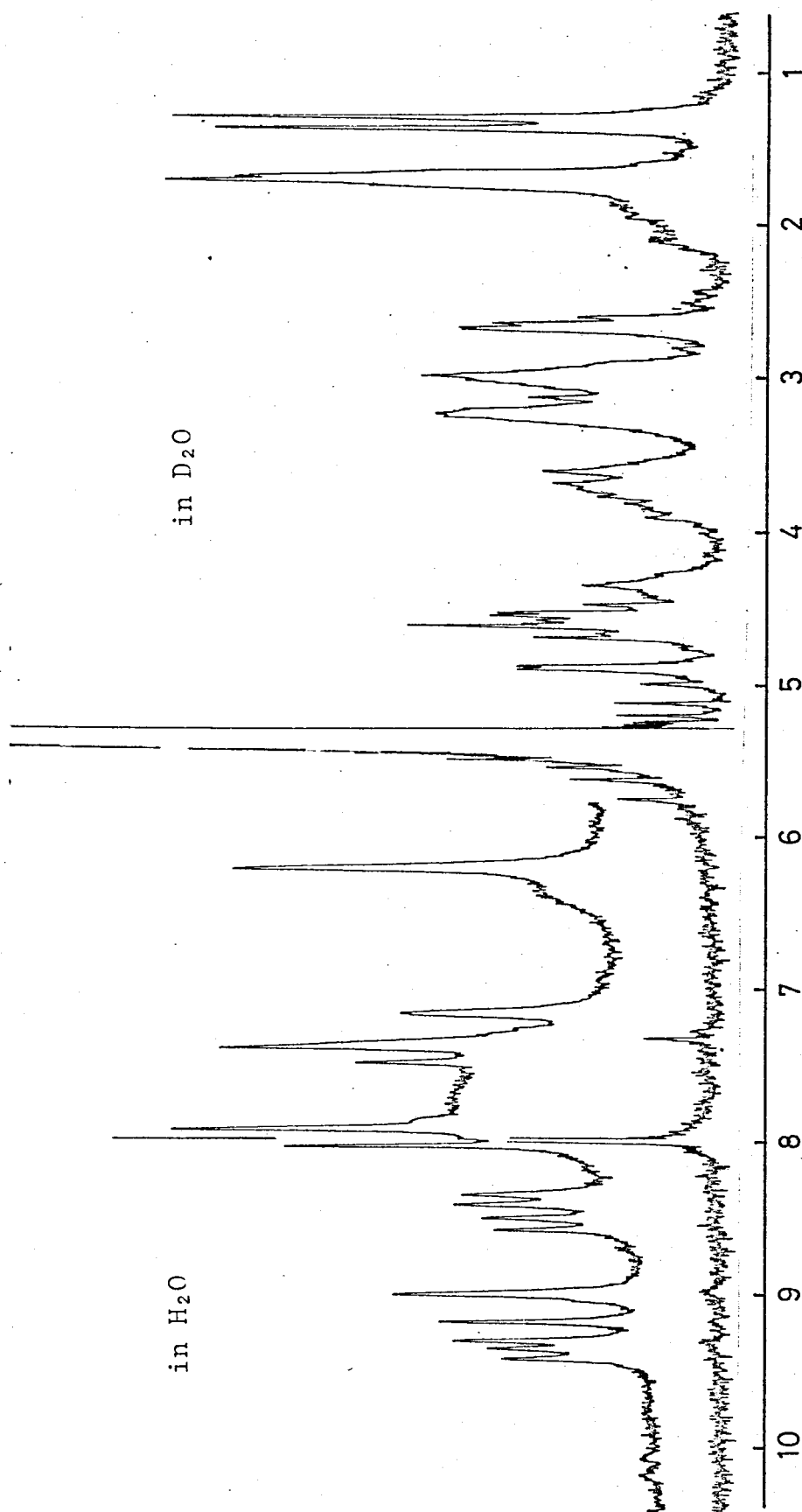


Fig. 5-29

NMR spectra of reverse-capreomycin IIB

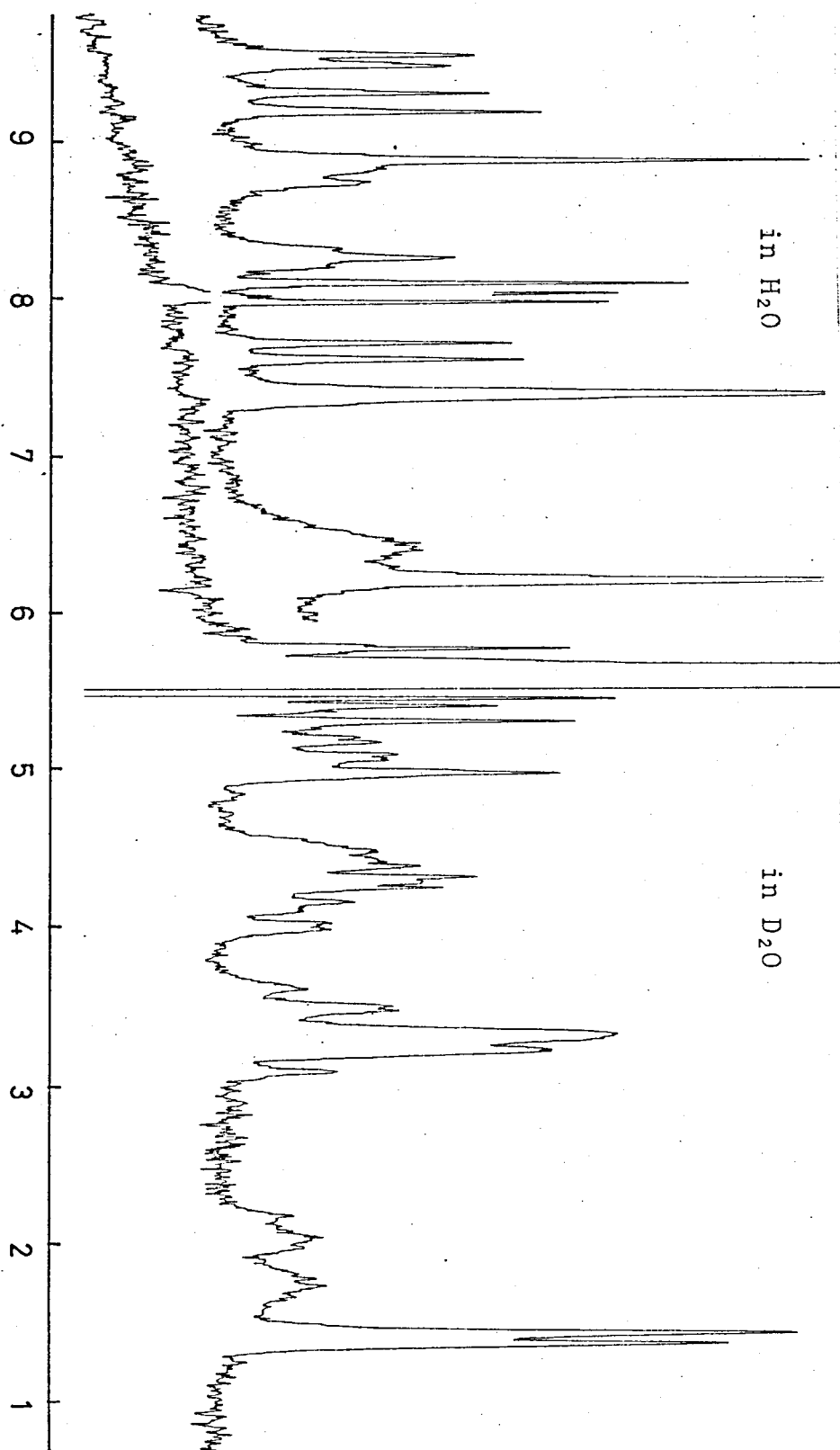


Fig. 5-32

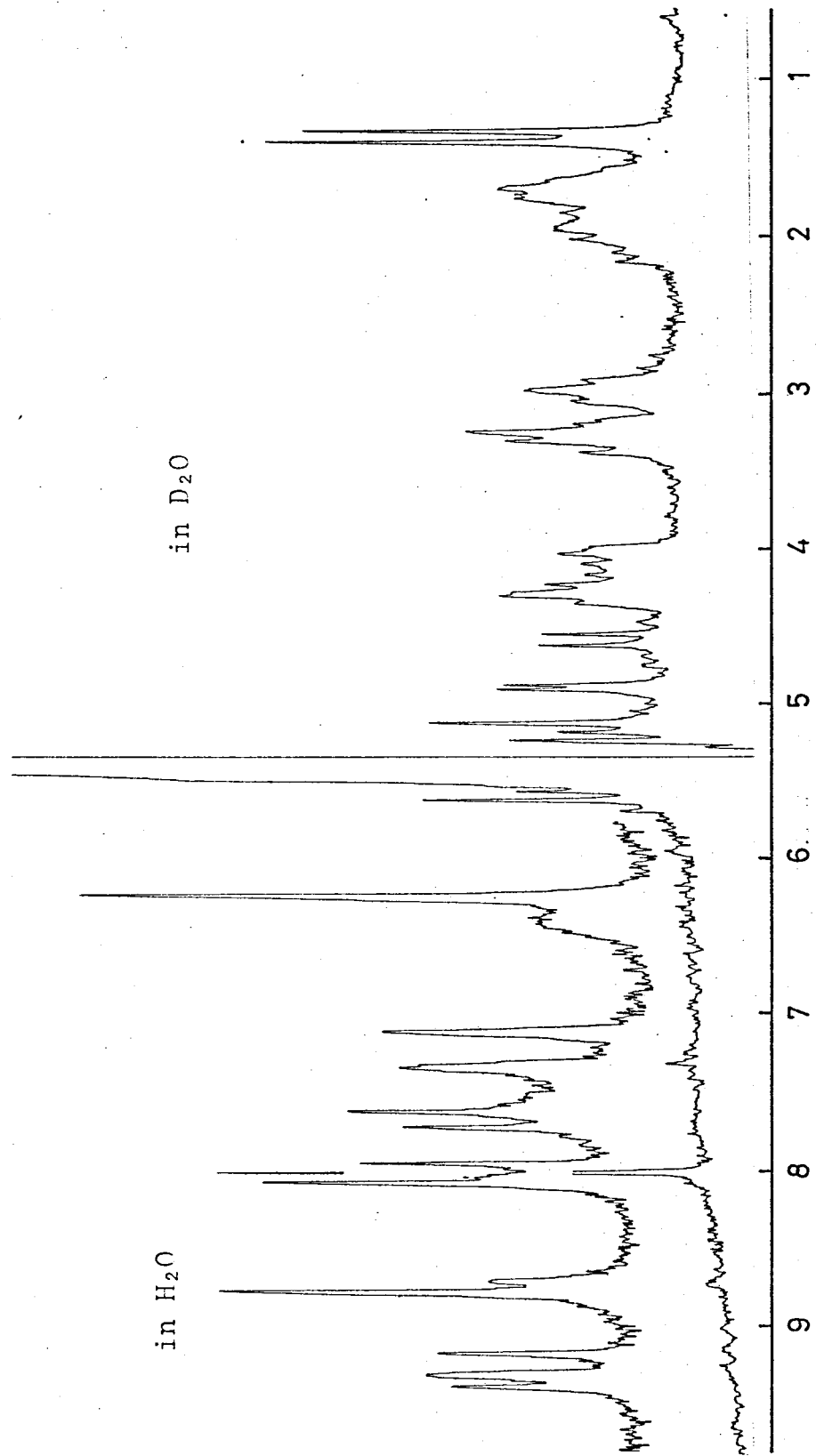
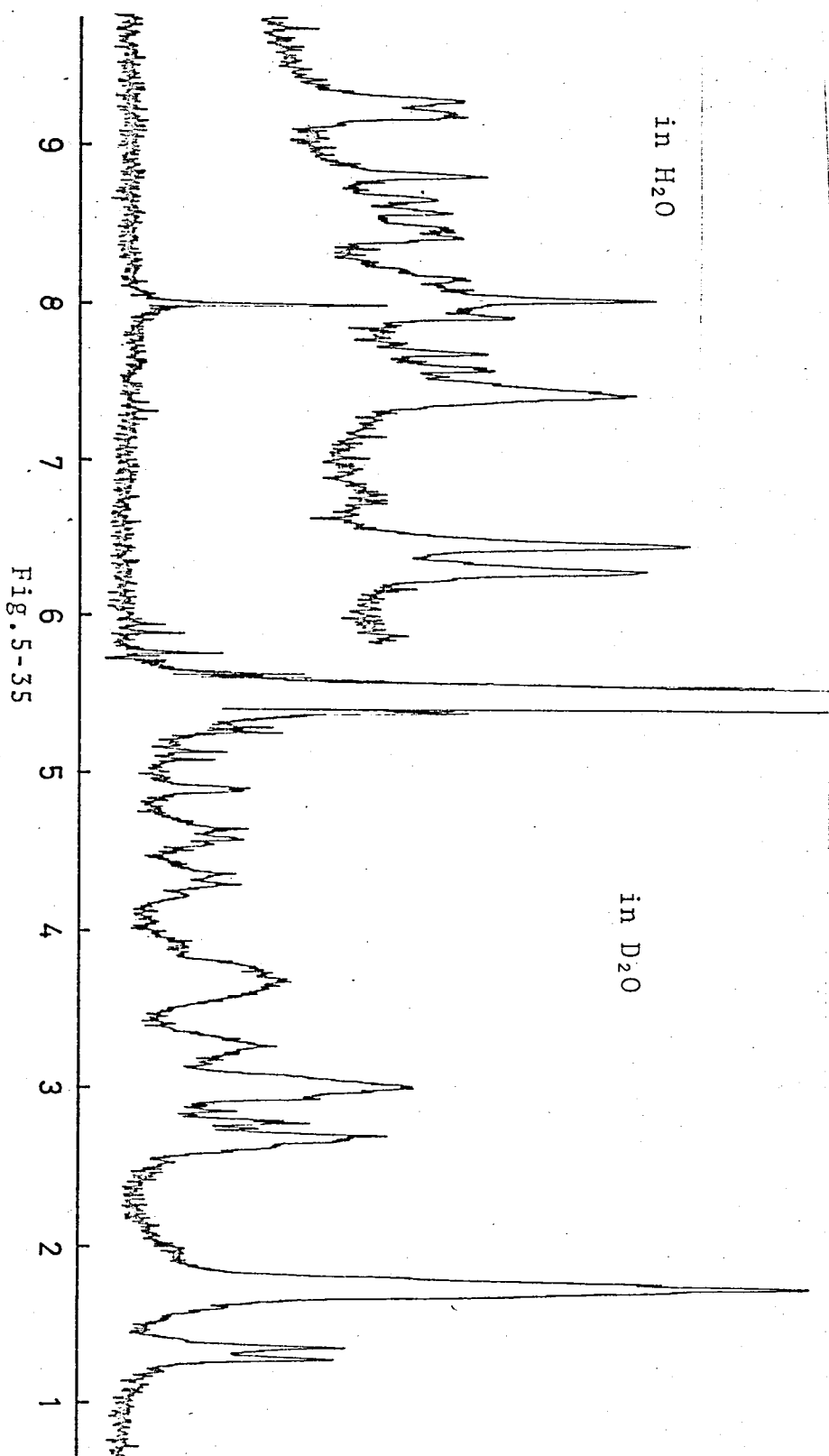
NMR spectra of [Orn⁴]-capreomycin IIB

Fig. 5-33

NMR spectra of di- β -Lys-capreomycin IIB

5-4 カプレオマイシン並びにその構造類似体の抗菌作用に対する考察
Table 5-8 に示したカプレオマイシン及びその類似体の抗菌スペクトルを比較考察すると、構造と活性の相関関係に関して以下に挙げるような結論を下すことが出来る。

- (1) カプレオマイシンIIA、IIBは、共にツベラクチナミンNより明らかに高い活性を示している。この事実から、第4番目のイミノ酸残基の β -

Table 5-8. Minimum inhibitory concentrations (mcg/ml) of capreomycin analogs^{a)}

Test organism	Cpm IA	Cpm IB	Tum O	Tua N
1) <i>S. epidermidis</i> sp-a1-1	100	>100	>100	>100
2) <i>St. pyogenes</i> 1022	>100	>100	>100	>100
3) <i>St. agalactiae</i> 1020	>100	>100	—	—
4) <i>C. diphtheriae</i> P.W.8	3.1	3.1	3.1	50
5) <i>B. subtilis</i> ATCC 6633	25	25	50	>100
6) <i>E. coli</i> B	50	100	100	>100
7) <i>K. pneumoniae</i> ATCC 10031	25	50	25	>100
8) <i>S. typhosa</i> H 901	25	50	100	>100
9) <i>Sh. sonnei</i> E 33	50	100	50	>100
10) <i>P. vulgaris</i> OX 19	50	50	50	>100
11) <i>Mycobacterium</i> ATCC 607	6.3	6.3	6.3	50

	Cpm IIA	Cpm IIB	pseudo Cpm IB	reverse Cpm IIB	[Orn ⁴]- Cpm IIB	di- β -Lys- Cpm IIB
1)	>100	>100	50	>100	>100	50
2)	50	50	50	100	100	>100
3)	50	100	>100	>100	100	>100
4)	6.3	6.3	1.6	100	25	1.6
5)	50	25	6.3	100	50	3.1
6)	50	100	50	>100	>100	100
7)	25	25	25	>100	100	50
8)	50	50	25	>100	>100	50
9)	100	100	100	>100	>100	100
10)	50	100	50	>100	>100	100
11)	25	12.5	12.5	100	25	3.1

a) Abbreviations; Cpm:capreomycin, Tum:tuberactinomycin, Tua:tuberactinamine.

位に存在するアミノ基は抗菌力を増加させる作用をすることが明らかになった。

これに対し、フソイドカプロオマイシンIBの場合は、第4残基に遊離アミノ基を有しているにもかかわらず、ツベラクテリマイシンOと比較して、上の例で見られた程度の活性の向上は認められなかった。この事実の解釈として現在次のように考えている。即ちツベラクテリマイシンやカプロオマイシンIA、IBの抗菌活性の強さはこの種の抗生物質の示し得る上限に達しているのび、一部の構造変化によりこれ以上の高活性の化合物を得るのは困難ではないかと考えられる。事実、本研究を含めて、現在までに全合成もしくは半合成された100種以上のツベラクテリマイシン類似体の中で、*Corynebacterium diphtheriae* と *Bacillus subtilis* に対してフソイドカプロオマイシンとジ- β -lys-カプロオマイシンIBがわずかに天然物より高活性を示したほかは、顕著に天然物の活性にまさる化合物は得られていない。

(2) リバースカプロオマイシンIBと(Orn⁺)-カプロオマイシンIBはツベラクテナミンNと同程度かあるいはそれ以下の活性しか示さないのび、(1)で問題にされた遊離アミノ基の活性増大作用は、その存在する場所に大きく支配されることが指摘できる。

(3) ツベラクテリマイシンO、カプロオマイシンIA、IB及びフソイドカプロオマイシンIBはいずれもほとんど同程度の活性を示しており、従って分枝部β-リジンの結合位置の差は抗菌力にさほど影響を与えないと考えられる。

またジ- β -Lys-カプロオマイシンIBとフソイドカプロオマイシンIBが、二種の菌種に対しわずかに天然カプロオマイシンより高活性を示したことは、この種の誘導体合成により天然物にまさる抗生物質創製に希望をもたせる事実である。

第6章 α, β -ジアミノプロピオン酸のHofmann分解を利用する デヒドロアラニンペプチドの新合成法

この新合成法の研究は第3章で述べた背景の下に生まれたのであるが、以下で述べるように、従来法に比べ応用範囲が広く、一般に種々のデヒドロアラニン含有ペプチドの合成に利用できるものであることが実証された。一般に α 位に二重結合を有するデヒドロ α ミノ酸は、抗生物質や植物毒素等より数多く発見され、それらの生体内での機能、生合成機構等の生化学的見地のみならず、合成化学的興味からも注目されている反面、複雑なデヒドロ α ミノ酸含有ペプチドの効果的な合成法は十分確立されているとは言えない。現在知られているデヒドロ α ミノ酸の合成法のうち、デヒドロアラニンペプチドの合成に有用な方法をFig.6-1に挙げた。³⁵⁾第3章でも触れたが、これらの方法は立体的にかさ高い試薬、過激な試薬あるいはイオンを含む中間体を使用する点で複雑なペプチドの合成には不利である。

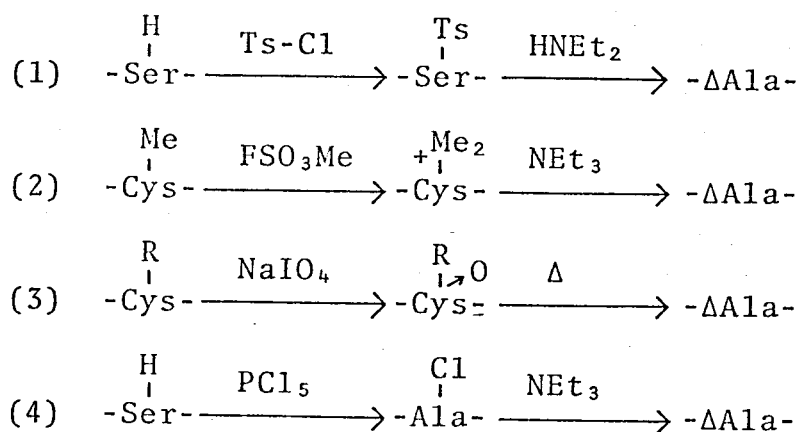


Fig.6-1

著者はこれらの欠点がなく穏和な条件下でデヒドロアラニンペプチドを得る新合成法を見い出した。³⁶⁾この方法の原理はFig.6-2に示すように、 α, β -ジアミノプロピオン酸(A_2pr)誘導体をデヒドロアラニン残基の合成前駆体として用いてペプチド合成を進め、適当な段階で α, β -ジアミノプロピオン酸の β -ア

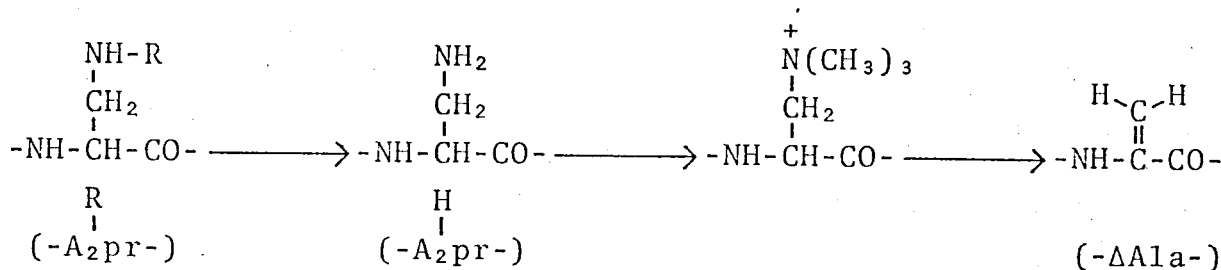


Fig.6-2

ミ) 基を脱保護した後、N-トリメチル化して Hofmann 分解を行ない、これをデヒドロアラニンに変換するものである。

この原理を実際に反応が進行することを確認する為の予備実験として、まず α -Azpr(H·HCl)-OMe (6-1, Fig. 6-3) の Hofmann 分解を試みた。即ち 6-1 を Chen らの方法³⁷⁾に従い、ミ) 基のトリメチル化条件にさらしたところ、中間に生じる N^{β} -トリメチルアンモニウム体(6-2)は所望に β -脱離を起こし、 α - Δ Ala-OMe (6-3) が高収率で得られた。注目すべきことに、反応混合物を酸・アルカリ洗浄して得られた油状粗生成物は極めて純度が高いことが NMR スペクトル (Fig. 6-4) 及び元素分析により示された。これは既存の方法と異なり、出発原料並びに中間体は全て塩基性物質であり、後処理の段階で完全に除去された為である。

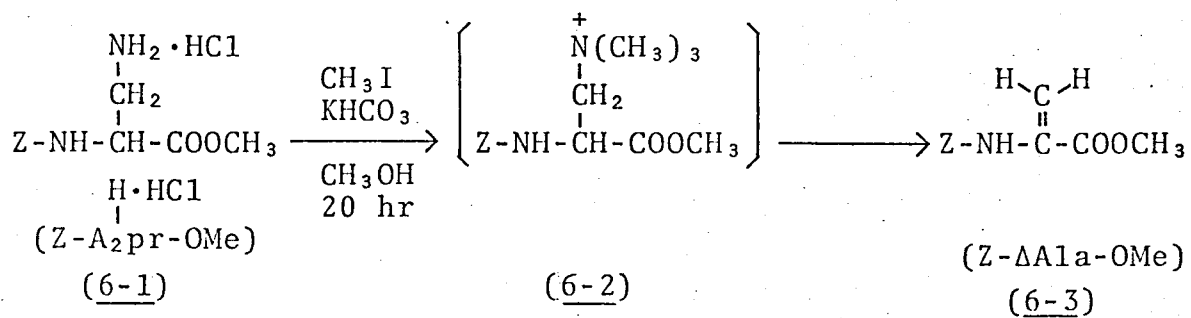


Fig. 6-3

次にペプチド中の α, β -ジアミ) プロピオン酸残基も本法によりデヒドロアラニンに変換できることも確認した。即ち Azpr(Z) 残基を導入したペプチドを酵解し、これを還元により脱ベンジルオキシカルボニル化後、Hofmann 分解してデヒドロアラニンがペプチドの N 端、C 端又は中央に存在する 3 種のペプチド 6-4 ~ 6-6 (Table 6-1) を得た。生成物の収率並びに純度は十分満足できるものであった。 α, β -ジアミ) プロピオン酸残基は塩基性条件下に N, N -アシル転位 (式 1, Fig. 6-5) を起こすことが知られているが、転位生成物はメチル化された後も Hofmann 分解を受けないので、たとえばのような転位生成物が副生してもその塩基性の為により後処理で容易に除去され、目的物に混入することはない。また実際に上記生成物の NMR スペクトルには目的物のシグナルのみが現れており、セリンの O-アシル化法において見られるようなアジリジン形成 (式 2, Fig. 6-5) も全く起こらないことが示された。

続いて本法の有用性を立証する為に、いくつかのより複雑なデヒドロアラ

NMR spectrum of Z-ΔAla-OMe

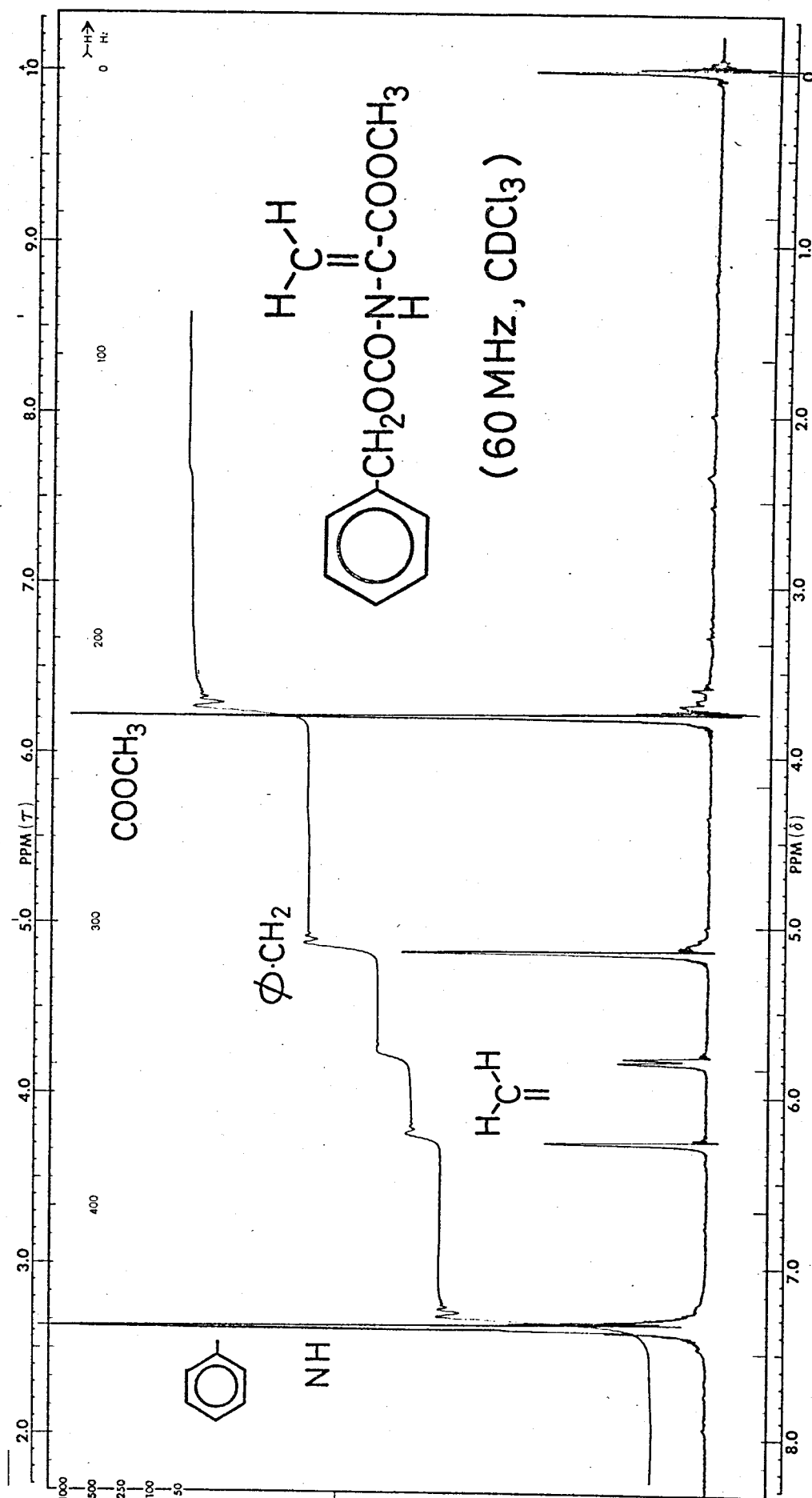
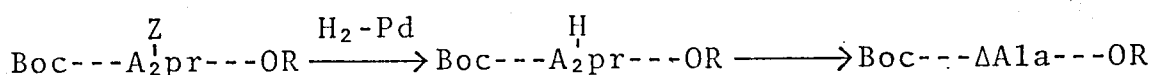


Fig. 6-4

Table 6-1. Dehydroalanine peptides synthesized in this study

Δ Ala peptides ^{a)}	Yield(%)	NMR(δ , CDCl_3)		
		$=\text{CH}_2$	NH(Δ Ala)	
Boc-Ala- Δ Ala-OMe (6-4)	68	5.92(d)	6.61(s)	8.57(br.s)
Boc- Δ Ala-Ala-OMe (6-5)	82	5.21(t)	6.05(d)	7.30(br.s)
Boc-Ala- Δ Ala-Ala-OMe (6-6)	61	5.53(d)	6.47(d)	8.77(br.s)
Boc- Δ Ala-Ala-Dea-OEt (6-7) ^{b)}	91	5.21(br.s)	6.02(d)	7.32(br.s)
Boc-Ala- Δ Ala-Dea-OEt (6-8) ^{b)}	96	5.40(br.s)	6.51(d)	8.65(br.s)
Boc- Δ Ala-Ser(<i>t</i> Bu)- Ser(<i>t</i> Bu)-Dea-OEt (6-9) ^{b)}	88	5.20(br.s)	6.02(t)	7.33(br.s)
Boc-Asn- Δ Ala-Ala-OMe (6-10)	77	5.72(d)	6.20(d)	_____c)
Boc-Trp- Δ Ala-Ala-OMe (6-11)	74	5.43(br.s)	6.42(d)	8.58(br.s)
Boc-Ser- Δ Ala-Ala-OMe (6-12)	76	5.51(br.s)	6.35(t)	9.08(br.s)
Boc-Tyr- Δ Ala-OMe (6-13)	83	5.98(s)	6.65(s)	8.32(br.s)

a) These peptides were prepared according to the following scheme. The phenolic hydroxyl group of Tyr residue was protected with benzyl group, which was finally removed simultaneously with Z group of A₂pr residue.



b) Dea: β,β -diethoxyalanine.

c) In CD_3OD .

ニンペプチド(6-7~6-13)を上記の方法で合成した。本法はナターールを溶媒としているが、化合物6-7~6-9中のエチルエステルはエステル交換を受けなかった。また立体障害の大きい β,β -ジエトキシアラニン(Dea)やSer(*t*Bu)残基に隣接する α,β -ジアミノプロピオン酸残基も効率よくデヒドロアラニンに変換された。

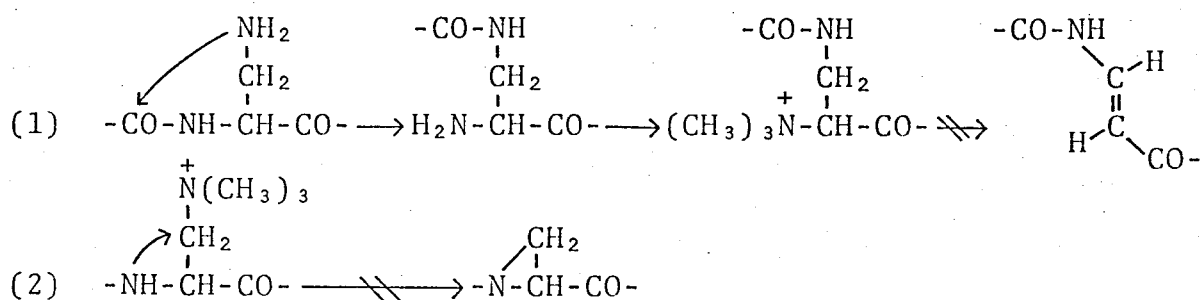
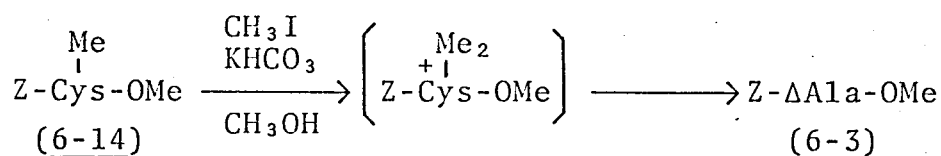


Fig.6-5

前駆物質からデヒドロアラニンへの変換反応中、三官能性アミノ酸残基の側鎖官能基が変化をうけるか否かは、その変換反応の価値を決定する重要な問題である。本反応では化合物 6-10~6-13 (Table 6-1) のNMRスペクトルを測定した結果、アスパラギンの1級アミド、トリプトファンのインドール環、セリン及びチロシンの水酸基は何ら修飾を受けておらず、またアスパラギン残基の転位も起こらなかったことが明らかになった。現在のところ、本法以外にこれらの官能基が遊離の状態にデヒドロアラニンに変換した例は報告されていない。

最後にナチオニン又はS-アルキルシステイン残基中のスルフィド基がこの反応条件に耐えるかどうかを検討した。スルフィド基は通常のアミノ酸に含まれる官能基のうち、最も反応性が強い部類に属し、Hofmann分解中ナチル化をうけることが予想された。まずZ-Cys(Me)-OMe (6-14, Fig. 6-6) をHofmann分解条件にさらした。この化合物もイオウ原子がナチル化されると、β-脱離を経てZ-ΔAla-OMe (6-3) を与えるが、Z-Azpr(H-HQ)-OMe (6-1) では20時間以内に反応がほぼ終了するのに対し、6-14 は100時間以上を要した。この事実により、スルフィド基のナチル化速度はアミノ基のものに比べ遅いので、S-ナチルシステイン残基の共存下でもα,β-ジアミノプロピオン酸をデヒドロアラ



Time (hr)	60	80	100
<u>6-14</u> (%)	67	76	87
<u>6-3</u> (%)	18	11	6

Fig. 6-6

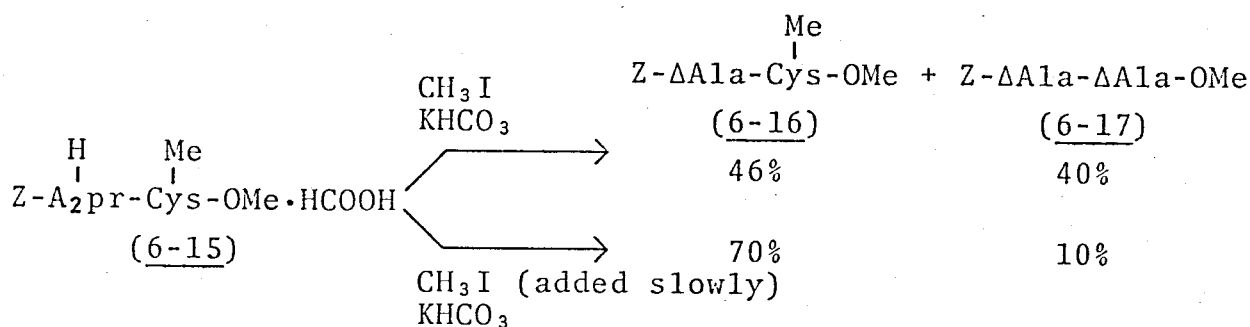


Fig. 6-7

ニンに変換できる可能性が示唆された。そこでジペプチド 6-15 (Fig. 6-7) 中の α, β -ジアミノプロピオン酸残基のみの選択的変換を試みた。上記の通常の条件でこの反応を行なうと、目的とする 6-16 と Cys(Me) 残基も変換された 6-17 がほぼ等量生じた。しかしこの反応の選択性の向上を期待して、ヨウ化ナトリウムを長時間かけて滴下したところ、目的物 6-16 を主生成物として得ることに成功した。この結果により、ナチオニンや S-保護システイン残基共存下でも著者の方法は適用できることが証明された。

デヒドロアラニン残基は非常に重合しやすいことは第3章でも述べたが、本研究においてもジペプチドまでの低分子誘導体はシリカゲルクロマトグラフィー中もしくは油状での放置中、遅いものでも2~3日のうちに高分子重合体になることを経験した。これに反し、ここで合成した化合物のうち Boc-Tyr- Δ Ala-OMe (6-13) のみは全く重合性を持たないことが確認された。一般にフェノール類はラジカル重合の停止剤として古くから使用されていることから、チロシン残基内のオキシフェニル基がこのジペプチドの重合を阻止していると考えられる。これを確認する為、Z- Δ Ala-OMe を油状で室温放置し、フェノール添加の効果調べた。フェノールを加えない場合、一夜のうちに重合反応が進行するが、フェノールをごく微量でも添加すると、3か月以上全く重合しないことが明らかになった。これまでデヒドロアラニンペプチドは重合性の為、極めて取り扱いにくいものであることが一般に認められながらも、ラジカル重合反応の阻止剤添加による防止法が全く報告されていなかったことは奇妙なことである。

以上の結果、このHofmann分解を利用したデヒドロアラニンの合成法は、アミノ酸に含まれる多くの官能基に影響を及ぼすことなく、穏和な条件下にデヒドロアラニンへ変換できる利点を持つことが実証できた。本法は従来合成が困難視されていたフェニルオキシ基を有する AM-Toxin III²⁵⁾ (Fig. 3-10) やスルフィド基を有する抗生物質 Nisin の A 環³³⁾ (Fig. 6-8) 等の複雑なデヒドロアラニンペプチドの合成に最も適した方法であると

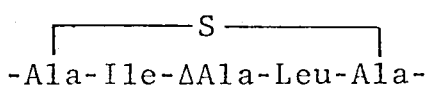


Fig. 6-8

考えられる。このようにここに述べた新合成法の開発と重合阻止法の導入によって、デヒドロアラニン誘導体の合成並びに精製が極めて容易

に行なわれ、今後デヒドロアラニンペプチドの化学が飛躍的に発展することが期待される。

実験の部

融点は全て補正してない。

各種の物理化学的性質の測定には以下の機器を使用した。

JASCO Model IR-5 Infrared Spectrophotometer

Hitachi 124 Spectrophotometer

Perkin-Elmer 141 Polarimeter

Knauer Osmometer

Varian A-60 NMR Spectrometer

Varian XL-100-15 NMR Spectrometer

Hitachi KLA-5 Amino Acid Analyzer

薄層クロマトグラフィーは Merck シリカゲル GF254 を、またカラムクロマトグラフィーは Merck シリカゲル 60 (0.063~0.200 mm) を用いて行なった。須紙電気泳動には東洋須紙 No. 51 を使用した。

第2章

Me
Ts- Dbu (Boc)-OMe (2-3)

化合物 2-2 (10.0 g, 26.8 mmol) の酢酸エチル溶液に大過剰のジアゾタタンのエーテル溶液を加え、0℃で10時間攪拌した。溶媒を留去して得た油状残渣をシリカゲルカラムクロマトグラフィー(ベンゼン-酢酸エチル 9:1)で精製して無色油状物(8.91 g, 82.9%)を得た。[α]_D²⁰ -28.0° (c2.0, CH₃OH)。

分析値: C, 53.86; H, 7.02; N, 6.91; S, 8.07%。

C₁₈H₂₃N₂O₆S としての計算値: C, 53.98; H, 7.05; N, 7.00; S, 8.01%。

Me
Ts- Dbu (Boc)-OH (2-4)

化合物 2-3 (8.91 g, 22.2 mmol) のメタノール溶液(10 ml)に0℃で攪拌しながらスルホン酸ナトリウム(16.7 ml)を10分間かけて滴下した。40分間攪拌を続けた後、水で3倍に希釈し濃クエン酸水を加えて酸性にした。生じた油状物を酢酸エチルで抽出し、有機層を水洗して無水硫酸マグネシウムで乾燥した。溶媒を留去して得た油状残渣をヘキサンで洗うと結晶化した。収量8.43 g (89.0%)、mp 122~123℃、[α]_D²⁰ -1.8° (c2.1, CH₃OH)。

分析値: C, 52.71; H, 6.74; N, 7.23; S, 8.25%.

$C_{17}H_{26}N_2O_6S$ としての計算値: C, 53.83; H, 6.78; N, 7.25; S, 8.30%.

Me
Ts- β -Orn(Boc)-OMe (2-5)

化合物 2-4 (5.00g, 12.9 mmol) の酢酸エチル溶液 (20 ml) に、 $-15^{\circ}C$ で攪拌しながら N -メチルモルホリン (1.44g, 14.2 mmol)、続いてクロルギ酸エチル (1.55g, 14.2 mmol) を加え、30 分間攪拌を続けた。沈殿を濾去した後、溶液に約 40 mmol のジアゾメタンを含むエーテルを加え、 $0^{\circ}C$ で 16 時間攪拌した。溶媒を低温で留去して得た残渣をメタノール (100 ml) に溶解し、これに安息香酸銀 (0.2g) のトリエチルアミン溶液 (3 ml) を加え、10 時間攪拌した。溶媒を留去して得た残渣を酢酸エチルに溶かして濾過した後、10% クエン酸水溶液、飽和炭酸水素ナトリウム水溶液で洗い、無水硫酸マグネシウムで乾燥した。溶媒を留去して得た油状物をシリカゲルカラムクロマトグラフィー (ベンゼン-酢酸エチル, 9:1) で精製して無色油状物 (4.39g, 82.1%) を得た。 $[\alpha]_D^{20} + 7.2$ (c 2.1, CH_3OH)。

分析値: C, 54.95; H, 7.45; N, 6.45; S, 7.52%.

$C_{19}H_{30}N_2O_6S$ としての計算値: C, 55.05; H, 7.30; N, 6.76; S, 7.74%.

Me
Ts- β -Orn(Boc)-OH (2-6)

化合物 2-5 (2.90g, 7.00 mmol) より、2-4 の場合と同様にして合成した。収量 2.44g (87.1%)、mp $125 \sim 127^{\circ}C$ 、 $[\alpha]_D^{20} + 1.5^{\circ}$ (c 2.3, CH_3OH)。

分析値: C, 54.01; H, 7.01; N, 6.92; S, 7.92%.

$C_{18}H_{28}N_2O_6S$ としての計算値: C, 53.98; H, 7.05; N, 7.00; S, 8.01%.

Me
Ts- β -Orn(H-HQ)-OH (2-7)

化合物 2-6 (0.500g, 1.25 mmol) を 4.0N 塩化水素 THF 溶液 (6.2 ml) に溶解し 2 時間攪拌した。エーテルを加えて生じた沈殿を濾取し、エーテルで洗った後、水酸にナトリウム上減圧乾燥した。収量 0.350g (83.1%)、mp $209^{\circ}C$ (dec)、 $[\alpha]_D^{20} + 2.6^{\circ}$ (c 2.3, 1N $NaOH$)。

分析値: C, 45.92; H, 6.34; N, 8.22; S, 9.33; O, 10.55%.

$C_{13}H_{21}N_2O_4SCl$ としての計算値: C, 46.35; H, 6.28; N, 8.32; S, 9.52; O, 10.53%.

Me- β -Arg(NO₂)-OH (Z-8)

化合物 Z-7 (0.400g, 1.19 mmol) の ZN 水酸化ナトリウム溶液 (1.19 ml) に 0℃ で攪拌しながら、O-メチル-N-ニトロイソ尿素 (0.198g, 1.66 mmol) を 5 回に分けて 5 分間隔で加えた。0℃ で 30 分間攪拌した後、6 N 塩酸で酸性にして生じた沈殿 (0.280g) を採取した。母液を酢酸エチルで抽出するとさらに 0.063g の目的物が得られた。合計収量 0.343g (74.6%)、mp 222~223℃、 $[\alpha]_D^{20} + 0.24^\circ$ (c 2.1, 1 N NaOH)。

分析値: C, 43.34; H, 5.47; N, 18.11; S, 8.04%。

C₁₄H₂₁N₅O₆S としての計算値: C, 43.40; H, 5.46; N, 18.08; S, 8.28%。

Me- β -Arg-OH (Z-9)

化合物 Z-8 (1.50g, 3.87 mmol) を酢酸-水 (9:1) (70 ml) 中にラジウム黒触媒を用いて 16 時間接触還元した。触媒を除去し溶媒を留去して得た残渣を 47% 臭化水素水 (30 ml) に溶解して 3 時間加熱還流した。反応液を濃縮した後、水を加えて濃縮する操作を 3 回繰り返した。このようにして得た油状物を水に溶かし Amberlite IRC 120 カラム (Type I, 100~200 mesh, H⁺型, 1.8×30 cm) に吸着させた。カラムを水 (200 ml) で洗った後、ZN 塩酸でアミノ酸を溶出した。目的物を含むフラクションを集め濃縮した後、水を加えて濃縮する操作を 3 回繰り返した。こうして得た油状物を結晶化する試みは全て失敗に終わった。収量 1.14g、 $[\alpha]_D^{20} + 17.5^\circ$ (c 1.5, H₂O) (lit. +20±2° (c 0.75, H₂O))。

上記生成物を水に溶かし、フラビアノ酸 (1.46g, 4.65 mmol) の水溶液を加え、0℃ で一夜放置した。生じた黄色結晶状の N¹²-メチル- β -アルギニン-フラビアノ酸塩 (1.67g, 52.8%) を採取した。mp > 220℃ (slowly dec)、 $[\alpha]_D^{20} + 1.51^\circ$ (c 1.9, 1 N NaOH)。

分析値: C, 39.68; H, 3.41; N, 13.65; S, 7.88%。

C₂₇H₂₈N₈O₈S₂ としての計算値: C, 39.17; H, 3.46; N, 13.72; S, 7.85%。

第3章

ウレイド交換反応の一般的操作

ツベラリチノマイシン N (1.00g) と尿素誘導体 (4.00g) を 3 N 塩酸 (10 ml) に溶解して室温で 30 日間放置した。反応液を濃縮した後エタノールを加えて生じ

た沈殿を浮取した。これを0.4M酢酸アンモニウム緩衝液(pH9.0)に溶解して、Amberlite IRC50 カラム(Type I, 100~200 mesh、同緩衝液で緩衝化、1.7×30 cm)に吸着させた後、同緩衝液で溶出した。目的物を含むフラクションを集め、カッレオマイシンの単離(第5章)の場合と同様な脱塩操作を行ない目的物を得た。

〔¹⁴C〕ウレイドデヒドロアラニン⁵]-ツベラクチノマイシンO

ツベラクチノマイシンO (15.0 mg) 及び放射性尿素 (3.9 mCi, The Radiochemical Center Amersham (40~60 mCi/mmol)) と尿素 (11 mg) の3N塩酸溶液 (0.3 ml) を試験管中室温で30日間放置した。反応液をSephadex G10 カラム (1.2×80 cm) に充填し水で溶出した。ニンヒドリン反応陽性のフラクションを集め凍結乾燥して、目的物 (10.5 mg, 69.8%) を白色粉末として得た。

第4章

Boc-Azpr(Z)-Ser(tBu)-Ser(tBu)-Dea-OEt (4-4)

化合物 4-3 (8.40 g, 13.4 mmol) と Boc-Azpr(Z)-ONs (5.84 g, 13.4 mmol) より 5-3 (第5章に関する実験の部参照) の場合と同様にして合成した。収量 9.20 g (84.4%)、mp 92~95℃、 $[\alpha]_D^{25} + 9.42^\circ$ (c 1.7, DMF)。

分析値: C, 57.32; H, 8.07; N, 8.41%。

C₃₇H₆₅N₅O₁₃ としての計算値: C, 57.68; H, 8.06; N, 8.62%。

Boc-Azpr(Nps-Arg(NO₂))-Ser(tBu)-Ser(tBu)-Dea-OEt (4-5)

化合物 4-4 (6.96 g, 8.57 mmol) をDMF中にラジウム黒触媒を用いて16時間接触還元した。触媒を除去した後、溶液に Nps-Arg(NO₂)-OH (4.75 g, 8.57 mmol)、HOBT (1.62 g, 12.0 mmol) 次いで DCC (2.12 g, 10.3 mmol) を0℃で攪拌しながら加えた。0℃で2時間、室温で16時間攪拌した後、浮過して溶媒を留去した。残渣を酢酸エチルに溶解した後、常法通り後処理した。生成物をシリカゲルカラムクロマトグラフィー(クロロホルム-メタノール、19:1)で精製して黄色粉末 (6.77 g, 76.5%) を得た。mp 126~135℃(dec)、 $[\alpha]_D^{25} + 11.17^\circ$ (c 1.6, DMF)。

分析値: C, 49.48; H, 7.08; N, 14.82; S, 3.06%。

C₄₃H₇₃N₁₁O₁₅·H₂O としての計算値: C, 49.18; H, 7.20; N, 14.67; S, 3.05%。

Cyclo [Boc-Azpr-Ser(tBu)-Ser(tBu)-Dea-Arg(NO₂)] (4-9)

化合物 4-5 (2.19 g, 2.12 mmol) から 5-11a の場合と同様にケン化、活性エステル化、脱オ-ニトロフェニルスルフェニル化、続いて環化反応を経て合成した。中間体 4-6 及び 4-7 はヘキサンで洗うと固化するが、再結晶の試みは全て失敗した。収量 0.236 g (13.3%); mp 235~237°C(dec), $[\alpha]_D^{25} -39.9^\circ$ (c1.6, DMF)。

分析値: C, 49.52; H, 7.74; N, 16.17%; 分子量, 725。

C₃₅H₆₄N₁₀O₁₃·H₂O としての計算値: C, 49.40; H, 7.82; N, 16.46%; 分子量, 851。

[Arg⁶]-ツベラフチナミン N (4-10)

化合物 4-9 (150 mg, 0.180 mmol) を少量の酢酸を含むメタノール中にラジウム黒融媒を用いて 24 時間接触還元した。融媒を除去した後、溶液を濃縮し、得た残渣を TFA (5 ml) に溶解して 30 分間攪拌した。TFA を除去した後、化合物 5-13a の場合と同様にして目的物 (108 mg, 97.3%) を得た。これを水-メタノール-エタノールから再沈殿して TLC 上純粋なもの (R_f 0.52、フェール-水-濃アンモニア水、30:10:1) を 71 mg (64%) 得た。mp 232°C(dec), $[\alpha]_D^{25} -39.7^\circ$ (c2.5, H₂O)。

[Arg⁶]-ツベラフチノisin O (4-1)

化合物 4-10 (79 mg, 0.13 mmol) と Boc-β-Lys(Boc)-ONSu (68 mg, 0.15 mmol) より 5-17 の場合と同様にして粗生成物 (82 mg, 82%) を得た。これを水-メタノール-エタノールから再沈殿して TLC 上純粋なもの (R_f 0.31、フェール-水-濃アンモニア水、30:10:1) を 62 mg (62%) 得た。mp 248°C(dec), $[\alpha]_D^{25} -39.3^\circ$ (c1.4, H₂O)。

Nps-Ser(tBu)-Ser(tBu)-Dea-OEt (4-12)

Z-Ser(tBu)-Dea-OEt (4.83 g, 10.0 mmol) と Nps-Ser(tBu)-ONSu (4.12 g, 10.0 mmol) より 5-2 の場合と同様な操作で黄色油状物 (6.11 g, 94.7%) として得た。

これを常法により結晶性ヒドラジド誘導体に導き、元素分析を行った。mp 186~187°C, $[\alpha]_D^{25} +9.48^\circ$ (c2.3, DMF)。

分析値: C, 51.51; H, 7.45; N, 13.12; S, 4.96%。

C₂₇H₄₅N₆O₉S としての計算値: C, 51.41; H, 7.35; N, 13.32; S, 5.08%。

Boc-Azpr(Nps-Azpr(Z))-OMe (4-12)

Nps-Azpr(Z)-OH (6.15g, 15.7mmol) と Boc-Azpr(Z)-OMe (5.54g, 15.7mmol) より 4-5 の場合と同様にして合成した。収量 7.09g (76.2%)、mp 164-165°C (dec)、 $[\alpha]_D^{25} -2.07^\circ$ (c0.97, DMF)。

分析値: C, 52.96; H, 5.62; N, 11.70; S, 5.40%。

C₂₆H₃₃N₅O₉S としての計算値: C, 52.78; H, 5.62; N, 11.84; S, 5.42%。

Boc-Azpr(Nps-Ser(tBu)-Ser(tBu)-Dea-Azpr(Z))-OMe (4-14)

化合物 4-12 (3.00g, 5.07mmol) の THF 溶液 (10ml) に 4.6N 塩化水素 THF 溶液 (2.8ml) を攪拌しながら滴下した。30分攪拌した後、溶媒を低温で留去して得た残渣を水に溶解し、エーテルで抽出した。水層を炭酸水素ナトリウムで塩基性にした後、酢酸エテルで抽出し有機層を飽和食塩水で洗い乾燥した。溶媒を留去すると淡黄色油状物 (2.06g, 4.70mmol) が得られた。

化合物 4-11 を常法通りケン化して得た油状物 4-13 (2.92g, 4.70mmol) と上記生成物の DMF 溶液 (10ml) に 0°C で攪拌しながら、HOBT (0.888g, 6.58mmol) と DCC (1.16g, 5.64mmol) を加えた。0°C で 2 時間、室温で 16 時間攪拌した後、濾過して濾液を濃縮した。こうして得た残渣を常法通り後処理して目的物 (3.78g, 77.3%) を得た。mp 170~173°C (dec)、 $[\alpha]_D^{25} -12.7^\circ$ (c0.98, DMF)。

分析値: C, 54.53; H, 7.08; N, 10.69; S, 2.70%。

C₄₇H₇₂N₈O₁₆S としての計算値: C, 54.43; H, 7.00; N, 10.80; S, 3.09%。

Cyclo[Boc-Azpr-Ser(tBu)-Ser(tBu)-Dea-Azpr(Z)] (4-18)

化合物 4-14 (3.00g, 2.88mmol) より 5-11a の場合と同様にして合成した。収量 2.307g (12.5%)、mp 725°C。

分析値: C, 56.28; H, 7.73; N, 11.43%; 分子量, 748。

C₄₀H₆₅N₇O₁₃ としての計算値: C, 56.39; H, 7.69; N, 11.51%; 分子量, 852。

{Azpr⁶}-ツペラフチナミン N (4-19)

化合物 4-18 (150mg, 0.176mmol) より 4-10 の場合と同様にして合成した。収量 75mg (78%)、mp 220°C (slowly dec)、 $[\alpha]_D^{25} +58.2^\circ$ (c1.0, H₂O)。

分析値: C, 31.24; H, 5.75; N, 20.43; Cl, 11.46%。

C₁₆H₂₉N₉O₈Cl₂·4H₂O としての計算値: C, 31.07; H, 6.03; N, 20.38; Cl, 11.47%。

Boc-Gal(NO₂)-OH·DCHA (4-27)

化合物 4-26 (7.00g, 34.3mmol) より 2-8 の場合と同様にして Boc-Gal(NO₂)-OH を油状物として得た。これを酢酸エチルに溶解して、DCHA (8.70g, 48.0mmol) を加えた。溶媒を留去して得た残渣をヘキサンで洗いと固化した。再結晶の試みは全て失敗した。このDCHA塩はTLC上単一のスポット (R_f 0.85, クロロホルム-メタノール-酢酸, 6:2:1) を与えた。収量 11.7g (72.2%), mp 145~148°C (dec), $[\alpha]_D^{25} +21.3^\circ$ (c 0.9, CH₃OH)。

Z-Azpr (Boc-Gal(NO₂))-OMe (4-29)

化合物 4-27 (8.00g, 16.9mmol) と 4-28 (4.89g, 16.9mmol) のクロロホルム溶液 (30ml) に 0°C で攪拌しながら、HOBT (3.66g, 27.1mmol) 次いで DCC (4.19g, 20.3mmol) を加えた。0°C で2時間、室温で16時間攪拌した後、濾過し濾液を常法通り後処理した。こうして得た生成物をシリカゲルカラムクロマトグラフィー (クロロホルム-メタノール, 20:1) で精製した後、アセトニールから再結晶して目的物 (2.40g, 27.0%) を得た。mp 114~115°C (dec), $[\alpha]_D^{25} -12.9^\circ$ (c 1.6, DMF)。

分析値: C, 48.14; H, 5.06; N, 17.89%.

C₂₁H₃₁N₇O₉ · 1/4 CH₃COCH₃ としての計算値: C, 48.37; H, 6.07; N, 18.16%.

Z-Azpr (Nps-Ser(tBu)-Ser(tBu)-Dea-Gal(NO₂))-OMe (4-31)

化合物 4-14 (1.34g, 2.17mmol) のDMF溶液 (2ml) に -15°C で攪拌しながら、N-メチルモルホリン (230mg, 2.27mmol) 次いでクロルギ酸エチル (287mg, 2.27mmol) を加え15分間攪拌した。化合物 4-29 を塩化水素 THF 溶液で脱プロキシルボニル化して得た 4-30 (500mg, 1.08mmol) のDMF溶液 (2ml) を上記反応物へ加え、直ちにN-メチルモルホリン (121mg, 1.19mmol) を加えた。-20°C で30分、室温で2時間攪拌した後、N-(2-アミノエチル)ピペラジン (約 0.5ml) を加え、10分間攪拌した。溶媒を留去して得た残渣を酢酸エチルに溶解して常法通り後処理した。こうして得た生成物をシリカゲルカラムクロマトグラフィー (クロロホルム-メタノール, 29:1) で繰り返して精製した。収量 355mg (31.7%), mp 172~175°C (dec), $[\alpha]_D^{25} -13.1^\circ$ (c 1.9, DMF)。

分析値: C, 50.39; H, 6.43; N, 14.70; S, 3.03%.

C₄₃H₆₅N₁₁O₆S · 1/2 H₂O としての計算値: C, 49.99; H, 6.44; N, 14.91; S, 3.10%.

Cyclo[ε-Azpr-Ser(tBu)-Ser(tBu)-Dea-Gal(NO₂)] (4-35)

化合物 4-31 (2.50g, 2.44 mmol) より 5-11a の場合と同様にして合成した。
収量 2.88 mg (14.1%), mp > 250°C, $[\alpha]_D^{25} -19.4^\circ$ (c 0.35, DMF).

分析値: C, 51.05; H, 7.04; N, 16.35%; 分子量, 737.

C₃₆H₅₈N₁₀O₁₃ · 1/2 H₂O としての計算値: C, 50.99; H, 7.01; N, 16.52%; 分子量, 848.

[Gal⁶]-ツベラクチナミン N (4-36)

化合物 4-35 (80 mg, 0.095 mmol) より 4-10 の場合と同様にして合成した。
この生成物は TLC 上単一のスポット (R_f 0.50, フェノール-水-濃アモニア水, 30:10:1) を示した。収量 40 mg (71%), mp 225°C (dec), $[\alpha]_D^{25} -44.3^\circ$ (c 1.1, H₂O).

[Gal⁶]-ツベラクチマイシン O (4-2)

化合物 4-36 (30 mg, 0.051 mmol) と Boc-β-Lys(Boc)-ONSu (25 mg, 0.056 mmol) より 4-1 の場合と同様にして合成した。この生成物は TLC 上単一のスポット (R_f 0.24, フェノール-水-濃アモニア水, 30:10:1) を示した。収量 26 mg (38%), mp 249°C (dec).

第5章

カプロオマイシン IA と IB の単離

市販カプロオマイシン ("Capastat", Eli Lilly) (3.00g) を 0.4 M 酢酸アモニア緩衝液 (pH 9.0) に溶解し、この緩衝液で緩衝化した Amberlite IRC50 カラム (Type I, 100~200 mesh, 2.5 × 90 cm) に吸着させた。同緩衝液 (900 ml) と 0.8 M 緩衝液 (pH 9.0) で直線濃度勾配溶出した後、後者 (1200 ml) を溶出した。カプロオマイシン IA と IB を含むフラクションを各々別に集め、3 N 塩酸で中和した後、水で 3 倍に希釈した。各々を Amberlite IRC50 カラム (Type I, 100~200 mesh, ピリジン型, 1.8 × 20 cm) に吸着させた後、1 M 酢酸でカプロオマイシンを溶出した。ニンヒドリン反応陽性のフラクションを集め、ピリジンで中和して減圧濃縮した。油状残渣を 3 N 塩酸 (約 5 ml) に溶解した後、エタノール (300 ml) を加えて、カプロオマイシン IA (1.41 g) 及び IB (0.81 g) を各々塩酸塩として得た。これを水-メタノール-エタノールより再沈殿して元素分

析用試料とした。NMR測定にはこれをさらに水から凍結乾燥して用いた。

カプロオマイシン構成アミノ酸の単離

市販カプロオマイシン(5.00g)を6N塩酸(50ml)中で20時間加熱還流して、完全水解した。濃縮した後、水を加え再濃縮する操作を3回繰り返して得た油状残渣を水に溶かし、Amberlite IRC120カラム(Type I, 100~200 mesh, H⁺型, 1.8×30cm)に充填した。水(500ml)と4N塩酸(500ml)を直線濃度勾配溶出して、セリン(0.240g)、アラニン(0.170g)、カプロオマイシジン塩酸塩(1.09g)をそれぞれ純粋に得た。 α , β -ジアミノプロピオン酸と β -リジンは混合物として得られたので、これを0.2Mピリジン-酢酸緩衝液(pH3.1)に溶かし、Amberlite IRC120 (Type I, 100~200 mesh, 同緩衝液で緩衝化, 1.2×40cm)カラムフクロマトグラフィーで精製した。同緩衝液(400ml)と2M緩衝液(400ml)で直線濃度勾配溶出して、両アミノ酸をそれぞれ純粋に得た。 α , β -ジアミノプロピオン酸は塩酸塩に変換して1.26g、 β -リジンは油状酢酸塩として0.720g得られた。

このようにして得た α , β -ジアミノプロピオン酸は完全にラセミ化していたが、市販カプロオマイシンを同条件で5時間水解した後、同様な単離操作を経て光学的に純粋なものを得た。

カプロオマイシンの2,4-ジニトロフェニル(DNP)化とDNPカプロオマイシン水解物中のDNP- α , β -ジアミノプロピオン酸の検出

カプロオマイシンIA又はIB(10mg)の水溶液(10ml)に炭酸水素ナトリウム(200mg)と2,4-ジニトロフルオロベンゼン(0.2ml)のエタノール溶液(20ml)を加え暗所で5時間撹拌した。生じたDNPカプロオマイシンの沈殿を浮取し水、エタノール次いでエーテルで十分洗浄し乾燥して、DNPカプロオマイシンIA(12mg)とIB(9mg)をそれぞれ得た。

上記生成物を各々、減圧封管中、定沸点塩酸と共に110℃で10時間加熱し水解した。水解物を凍結乾燥した後、水に溶かし酢酸エチルで3回抽出した。水層中のDNP- α , β -ジアミノプロピオン酸をアミノ酸分析及び紙電泳で確認した。

カプロオマイシンのアセチル化

カプロオマイシンIA又はIB(200mg)をDMFに懸濁しAcONSu(177mg)及びト

リエチルアミン(114mg)と共に24時間撹拌した。反応液を濾過し濾液を濃縮した後、残渣にエタノールを加え生じた沈殿を遠心分離した。このようにして得たアセチルカプロオマイシンIA(119mg)とIB(92mg)をDMF-エタノールから再沈殿してNMR測定用試料とした。

カプロオマイシンIAの還元と還元体のEdman-Dansyl分析

カプロオマイシンIA(50mg)を1N塩酸中酸化白金触媒(15mg)を用いて48時間接触還元した。触媒を濾去した後、濾液を濃縮し残渣にエタノールを加えて α -[Ala⁵]-カプロオマイシンIA(42.9mg)を白色粉末として得た。この生成物を水分解してアミノ酸分析にかけると次のアミノ酸が検出された。 α , β -ジアミノプロピオン酸:カプロオマイシジン:セリン:アラニン(1.87:1.12:1.00:0.93,モル比)。 β -リジンはその保持時間がマンモニアと一致する測定量できなかった。

この生成物を常法通りEdman-Dansyl分析して、DNS-セリンをTLC(R_f 0.52, n -ブタノール-酢酸-水(4:1:2); R_f 0.68, フェノール-水-濃アモニア水(30:10:1))で検出した。

Boc-Azpr(Z)-Dea-OEt(5-2)

Z-Dea-OEt(5-1)(8.15g, 24.0mmol)を酢酸(2.17g, 36.0mmol)存在下にパラジウム黒触媒を使用してエタノール中で接触還元して、H-Dea-OEt $\cdot$ AcOHを油状物として得た。

上記生成物の酢酸エチル溶液(20ml)を氷冷したBoc-Azpr(Z)-ONSu(9.5g, 21.8mmol)の酢酸エチル溶液(50ml)へ撹拌しながら滴下した。続いてN-メチルモルホリン(2.42g, 24.0mmol)を滴下した後、0℃で2時間、室温で16時間撹拌した。反応混合物を10%クエン酸水溶液、飽和炭酸水素ナトリウム水溶液次いで水で洗い、無水硫酸マグネシウムで乾燥した。溶媒を留去すると白色粉末(9.49g, 82.7%)が得られた。酢酸エチル-ヘキサンより再結晶して得た針状晶を元素分析した。mp 38~45℃、 $[\alpha]_D^{25}$ -15.6°(c1.5, DMF)。

分析値: C, 57.04; H, 7.50; N, 8.05%.

C₂₅H₃₉N₃O₉としての計算値: C, 57.13; H, 7.48; N, 8.00%.

Boc-Ser(Bzl)-Azpr(Z)-Dea-OEt(5-4a)

化合物 5-2 (3.15g, 6.00 mmol) を 4.5N 塩化水素エタノール溶液 (20 ml) で 1.5 時間処理した。ベンゼン (300 ml) を加え凍結乾燥する操作を 3 回繰り返した後、得た白色粉末を水酸化ナトリウム上減圧乾燥した。

上記生成物と Boc-Ser(Bzl)-ONSu (2.35g, 6.00 mmol) の酢酸エチル溶液 (20 ml) に 0°C で攪拌しながら N-メチルモルホリン (0.911g, 9.00 mmol) の酢酸エチル溶液 (10 ml) を滴下し、0°C で 2 時間、室温で 16 時間攪拌した。常法通り後処理して白色粉末 (3.38g, 80.1%) を得た。mp 92~108°C, $[\alpha]_D^{25} -10.6^\circ$ (c2.1, DMF)。

分析値: C, 59.79; H, 7.17; N, 7.85%.

$C_{35}H_{50}N_4O_{11}$ としての計算値: C, 59.81; H, 7.17; N, 7.97%.

Boc-Ala-Azpr(Z)-Dea-OEt (5-4b)

化合物 5-2 (5.26g, 10.0 mmol) と Boc-Ala-ONSu (2.86g, 10.0 mmol) から 5-4a の場合と同様にして合成した。収量 5.04g (84.4%), mp 83~87°C, $[\alpha]_D^{20} -18.3^\circ$ (c2.0, DMF)。

分析値: C, 56.13; H, 7.14; N, 9.28%.

$C_{28}H_{44}N_4O_{10}$ としての計算値: C, 56.36; H, 7.43; N, 9.39%.

Boc-Azpr(Nps-Cpd(NO₂))-Ser(Bzl)-Azpr(Z)-Dea-OEt (5-7a)

化合物 5-4a (3.77g, 5.39 mmol) を 5-2 の場合と同様に脱アトキシカルボニル化して得た 5-5a と化合物 5-6 (3.00g, 5.39 mmol) の DMF 溶液 (20 ml) に HOBt (1.02g, 7.55 mmol)、N-メチルモルホリン (0.818g, 8.09 mmol) と DCC (1.33g, 6.47 mmol) を 0°C で加え、0°C で 2 時間、室温で 16 時間攪拌した。経過した後、溶液を減圧濃縮し酢酸エチルに溶解して常法通り後処理した。収量 5.47g (88.9%), mp 160~170°C (dec), $[\alpha]_D^{25} +37.4^\circ$ (c1.8, DMF)。

分析値: C, 52.04; H, 5.98; N, 14.57; S, 2.71%.

$C_{50}H_{68}N_{12}O_7S \cdot H_2O$ としての計算値: C, 51.80; H, 6.09; N, 14.50; S, 2.77%.

Boc-Azpr(Nps-Cpd(NO₂))-Ala-Azpr(Z)-Dea-OEt (5-7b)

化合物 5-4b (2.70g, 4.86 mmol) と 5-6 (2.90g, 4.86 mmol) より 5-7a の場合と同様にして合成した。収量 4.54g (90.3%), mp 134~163°C (dec), $[\alpha]_D^{20} +37.8^\circ$ (c2.1, DMF)。

分析値: C, 49.37; H, 6.11; N, 15.69; S, 2.97%.

$C_{43}H_{62}N_{12}O_{16}S \cdot H_2O$ としての計算値: C, 49.04; H, 6.13; N, 15.96; S, 3.04%.

Boc-Azpr(Nps-Cpd(NO₂))-Ser(Bzl)-Azpr(Z)-Dea-OH (5-8a)

化合物 5-7a (4.20 g, 3.68 mmol) のエタール懸濁液 (5 ml) に ZN 水酸化ナトリウム (2.80 ml) を加え 1 時間攪拌した。水で希釈した後、10% クエン酸水溶液で酸性にし、生じた油状物を酢酸エーテルで抽出した。有機層を水で洗浄した後、無水硫酸マグネシウムで乾燥した。溶媒を留去して黄色粉末 (3.39 g, 82.7%) を得た。mp 132°C (dec), $[\alpha]_D^{22} + 33.5^\circ$ (c 0.9, DMF)。

分析値: C, 51.43; H, 5.89; N, 14.88; S, 2.65%.

$C_{48}H_{64}N_{12}O_{17}S \cdot H_2O$ としての計算値: C, 50.97; H, 5.88; N, 14.86; S, 2.83%.

Boc-Azpr(Nps-Cpd(NO₂))-Ala-Azpr(Z)-Dea-OH (5-8b)

化合物 5-7b (2.97 g, 2.87 mmol) より 5-8a の場合と同様にして合成した。収量 2.62 g (90.7%), mp 140~148°C (dec), $[\alpha]_D^{22} + 35.3^\circ$ (c 1.7, DMF)。

分析値: C, 48.14; H, 5.79; N, 16.37; S, 2.90%.

$C_{41}H_{58}N_{12}O_{16}S \cdot H_2O$ としての計算値: C, 48.04; H, 5.90; N, 16.40; S, 3.13%.

Boc-Azpr(Nps-Cpd(NO₂))-Ser(Bzl)-Azpr(Z)-Dea-ONSu (5-9a)

化合物 5-8a (3.48 g, 3.13 mmol) の THF 溶液 (10 ml) に HONSu (0.432 g, 3.75 mmol) と DCC (0.744 g, 3.75 mmol) を加え室温で 4 時間攪拌した。濾過した後、溶媒を留去して得た黄色残渣をエーテルで洗い取り取した。収量 3.64 g (96.3%), mp 121°C (dec), $[\alpha]_D^{22} + 29.9^\circ$ (c 1.8, DMF)。

分析値: C, 51.01; H, 5.52; N, 14.92; S, 2.44%.

$C_{52}H_{67}N_{13}O_{19}S \cdot H_2O$ としての計算値: C, 50.85; H, 5.66; N, 14.83; S, 2.61%.

Boc-Azpr(Nps-Cpd(NO₂))-Ala-Azpr(Z)-Dea-ONSu (5-9b)

化合物 5-8b (2.62 g, 2.60 mmol) より 5-9a の場合と同様にして合成した。収量 2.69 g (93.7%), mp 137°C (dec), $[\alpha]_D^{22} + 32.7^\circ$ (c 2.0, DMF)。

分析値: C, 48.97; H, 5.80; N, 16.06; S, 2.62%.

$C_{45}H_{51}N_{13}O_{18}S \cdot \frac{1}{2}H_2O$ としての計算値: C, 48.55; H, 5.61; N, 16.36; S, 2.88%.

Cyclo[Boc-Azpr-Ser(Bzl)-Azpr(Z)-Dea-Cpd(NO₂)] (5-11a)

化合物 5-9a (3.17g, 2.17 mmol) の THF 溶液 (3 ml) に 0℃ で攪拌しながら、2.0 N 塩化水素 THF 溶液 (3.3 ml) を滴下した。0℃ で 30 分攪拌した後、エーテルを加えて 5-10a を沈殿させた。これを浮取乾燥した後、DMF (200 ml) に溶解して、ピリジン (3 l) 中へ攪拌しながら 48 時間かけて滴下した。さらに 16 時間攪拌した後、ピリジンを留去して得た残渣をシリカゲルカラムクロマトグラフィー (クロロホルム-メタノール、19:1) にかけて目的物を単離した。収量 0.486g (23.8%)、mp > 250℃、 $[\alpha]_D^{25} -39.1^\circ$ (c 1.0, DMF)。

分析値: C, 52.68; H, 6.24; N, 16.11%; 分子量, 880.

C₄₂H₅₉N₁₁O₁₄・H₂O としての計算値: C, 52.55; H, 6.40; N, 16.05%; 分子量, 960.

Cyclo[Boc-Azpr-Ala-Azpr(Z)-Dea-Cpd(NO₂)] (5-11b)

化合物 5-9b (1.50g, 1.36 mmol) より 5-11a の場合と同様にして合成した。収量 0.293g (26.6%)、mp > 250℃、 $[\alpha]_D^{25} -55.1^\circ$ (c 0.8, DMF)。

分析値: C, 49.34; H, 6.41; N, 17.85%; 分子量, 920.

C₃₅H₅₃N₁₁O₁₃・H₂O としての計算値: C, 49.23; H, 6.49; N, 18.04%; 分子量, 854.

Cyclo[Boc-Azpr-Ser(Bzl)-Azpr(Boc-β-Lys(Boc))-Dea-Cpd(NO₂)] (5-12a)

化合物 5-11a (150 mg, 0.159 mmol) を Boc-β-Lys(Boc)-ONSu (92 mg, 0.24 mmol) の存在下にパラジウム黒触媒を用いて DMF (10 ml) 中で接触還元した。16 時間後、触媒を浮去して溶液にクロロホルム (10 ml) とエーテル (5 ml) を加え生じた沈殿を浮取した。収量 150 mg (84.6%)、mp 242~250℃ (dec)、 $[\alpha]_D^{25} -47.0^\circ$ (c 0.4, DMF)。

分析値: C, 51.88; H, 7.16; N, 15.79%.

C₅₀H₈₁N₁₃O₁₇・H₂O としての計算値: C, 52.03; H, 7.25; N, 15.78%.

Cyclo[Boc-Azpr-Ala-Azpr(Boc-β-Lys(Boc))-Dea-Cpd(NO₂)] (5-12b)

化合物 5-11b (100 mg, 0.120 mmol) より 5-12a の場合と同様にして合成した。収量 110 mg (89.4%)、mp 245~247℃ (dec)、 $[\alpha]_D^{25} -51.1^\circ$ (c 1.2, DMF)。

分析値: C, 48.75; H, 7.29; N, 17.09%.

C₄₃H₇₅N₁₃O₁₅・³/₂ H₂O としての計算値: C, 48.55; H, 7.44; N, 17.22%.

合成カプロオマイシンIA (5-13a)

化合物 5-12a (120 mg, 0.106 mmol) を 99% ギ酸 (3 ml) で 1 時間処理した後、ギ酸を留去して、ナタール-水 (9:1) 中でソージウム黒触媒を用い 20 時間接触還元した。触媒を留去した後、溶液を濃縮して得た残渣を 1N 塩酸-アセトン (1:1) (5 ml) に溶解して 10 分間加熱還流した。放冷後尿素 (500 mg) を加え 16 時間撹拌した。触媒を留去して得た残渣に エタノールを加え、生じた白色沈殿を浮取した。これを水-ナタール-エタノールから再沈殿した。収量 69 mg (80%)、物理化学的データは本文中に記載した。

分析値: C, 36.00; H, 6.07; N, 23.54; Cl, 17.41%.

$C_{25}H_{48}N_{14}O_8Cl_4 \cdot H_2O$ としての計算値: C, 36.06; H, 6.05; N, 23.55; Cl, 17.03%.

合成カプロオマイシンIB (5-13b)

化合物 5-12b (105 mg, 0.102 mmol) より 5-13a の場合と同様にして合成した。収量 69 mg (85%)。

分析値: C, 36.90; H, 6.20; N, 24.05; Cl, 17.74%.

$C_{25}H_{48}N_{14}O_8Cl_4 \cdot H_2O$ としての計算値: C, 36.77; H, 6.17; N, 24.02; Cl, 17.37%.

カプロオマイシンIIA (5-14a)

化合物 5-11a (170 mg, 0.180 mmol) より 5-13a の場合と同様にして合成した。収量 99 mg (84%)、mp 250°C (dec). $[\alpha]_D^{25} + 9.3^\circ$ (c 2.8, H_2O).

分析値: C, 34.77; H, 5.60; N, 25.13; Cl, 15.35%.

$C_{19}H_{35}N_{12}O_7Cl_3 \cdot \frac{1}{2} H_2O \cdot \frac{1}{2} CH_3OH$ としての計算値: C, 34.70; H, 5.67; N, 24.90; Cl, 15.76%.

カプロオマイシンIIB (5-14b)

化合物 5-11b (150 mg, 0.179 mmol) より 5-13a の場合と同様にして合成した。収量 93 mg (81%)、mp 252°C (dec). $[\alpha]_D^{25} - 24.9^\circ$ (c 0.57, H_2O).

分析値: C, 31.99; H, 6.15; N, 23.82; Cl, 15.24%.

$C_{19}H_{35}N_{12}O_6Cl_3 \cdot 4 H_2O$ としての計算値: C, 32.32; H, 6.14; N, 23.81; Cl, 15.07%.

Cyclo[Boc- β -Lys(Boc)-Aspr-Ala-Aspr(Z)-Dea-Cpd(NO_2)] (5-18)

化合物 5-11b (300 mg, 0.359 mmol) をギ酸 (5 ml) に溶かして 2 時間撹拌した。

ギ酸を留去して得た残渣をエーテルで洗って回収し、水酸化ナトリウム上減圧乾燥した。

上記生成物と Boc- β -Lys(Boc)-ONSu (191 mg, 0.431 mmol) の DMF 溶液 (3 ml) にトリエチルアミン (54 mg, 0.54 mmol) を加え 40 時間攪拌した。反応液にクロホルムを加えて生じた塊状を回収した。収量 335 mg (87.7%), mp $\geq 40^\circ\text{C}$ (dec), $[\alpha]_D^{23} - 43.7^\circ$ (c 0.90, DMF)。

分析値: C, 50.36; H, 6.81; N, 17.13%。

$\text{C}_{46}\text{H}_{73}\text{N}_{13}\text{O}_{16} \cdot \frac{3}{2}\text{H}_2\text{O}$ とした計算値: C, 50.63; H, 7.02; N, 16.69%。

70S イドカプロオマイシン IB (5-15)

化合物 5-18 (110 mg, 0.132 mmol) より 5-13a の場合と同様にして合成した。収量 62 mg (74%), mp $\geq 45^\circ\text{C}$ (dec), $[\alpha]_D^{23} - 30.7^\circ$ (c 0.61, DMF)。

分析値: C, 37.44; H, 6.09; N, 24.27%。

$\text{C}_{25}\text{H}_{48}\text{N}_{14}\text{O}_{12}$ とした計算値: C, 37.60; H, 6.06; N, 24.56%。

リニースカプロオマイシン IB (5-16a) 及び (Orn⁺)-カプロオマイシン IB (5-16b)

この二種の化合物は全経路にわたってカプロオマイシン IB の場合と同様の操作で合成した。合成中間体並びに最終生成物の収率と物理化学的性質を次表に示す。

β -Lys-カプロオマイシン IB (5-17)

経路(1) 化合物 5-11b (45 mg, 0.071 mmol) の DMF 懸濁液 (2 ml) に Boc- β -Lys(Boc)-ONSu (79 mg, 0.18 mmol) とトリエチルアミン (18 mg, 0.18 mmol) を加え 48 時間攪拌した。DMF を留去して得た残渣を 3 N 塩酸 (3 ml) に溶解して 1 時間攪拌した後 4 N 水酸化ナトリウムで中和した。この溶液を Sephadex G10 カラム (2.5 $\times$ 80 cm) に通し脱塩して目的物 (51 mg, 75%) を得た。mp $\geq 45^\circ\text{C}$ (dec), $[\alpha]_D^{23} - 50.5^\circ$ (c 1.3, H_2O)。

分析値: C, 35.01; H, 6.89; N, 20.23; O, 16.44%。

$\text{C}_{31}\text{H}_{61}\text{N}_{16}\text{O}_8\text{Cl}_5 \cdot 6\text{H}_2\text{O} \cdot \text{CH}_3\text{OH}$ とした計算値: C, 24.83; H, 7.03; N, 20.31; O, 16.07%。

経路(2) 化合物 5-18 (150 mg, 0.141 mmol) と Boc- β -Lys(Boc)-ONSu (94 mg, 0.21 mmol) より 5-12a の場合と同様にして化合物 5-26 (147 mg, 83.1%) を得

Comp.	Yield (%)	mp (°C)	$[\alpha]_D^{23a)}$	Elemental analysis			Found
				C	H	N	Calcd ^{b)} S or Cl
<u>5-19b</u>	84.7	62-63	-5.9°	57.91 57.67	7.96 7.89	7.27 7.47	
<u>5-20a</u>	85.3	70-75	-4.3°	57.49 57.68	7.68 7.74	8.96 8.97	
<u>5-20b</u>	89.5	94-96	-10.7°	56.69 56.36	7.48 7.43	9.45 9.39	
<u>5-21a</u>	88.7	136-140 (dec)	+32.9°	49.19 49.04	6.08 6.13	15.78 15.96	2.96 3.04
<u>5-21b</u>	85.3	155-160 (dec)	+38.0°	50.70 50.84	6.33 6.26	15.40 15.81	3.03 3.02
<u>5-22a</u>	83.9	134-137 (dec)	+42.5°	48.64 49.09	6.05 6.04	15.98 15.98	3.07 3.05
<u>5-22b</u>	90.5	125-130 (dec)	+34.0°	49.94 50.04	6.27 6.25	15.18 15.56	2.79 2.97
<u>5-24a</u> ^{c)}	26.5	>250	-38.1°	49.42 49.23	6.32 6.49	18.21 18.04	
<u>5-24b</u> ^{d)}	20.1	>250	-44.7°	51.04 50.91	6.64 6.70	17.66 17.65	
<u>5-16a</u>	88.6	>250	+29.2°	31.15 31.13	5.99 6.33	22.80 22.93	14.55 14.51
<u>5-16b</u>	93.0	245-248 (dec)	-51.5°	33.02 33.14	6.24 6.62	22.07 22.09	14.14 13.98

a) c1.0-2.0 in DMF (5-19b-5-24b) or in H₂O (5-16a, 5-16b).

b) Molecular formula: 5-19b, C₂₇H₄₃N₃O₉·¹/₂H₂O; 5-20a, C₃₀H₄₈N₄O₁₀; 5-20b, C₂₈H₄₄N₄O₁₀; 5-21a, C₄₃H₆₂N₁₂O₁₆S·H₂O; 5-21b, C₄₅H₆₆N₁₂O₁₆S; 5-22a, 5-22a, C₄₁H₅₈N₁₂O₁₆S·¹/₂H₂O·¹/₂C₄H₈O; 5-22b, C₄₃H₆₂N₁₂O₁₆S·¹/₂H₂O·¹/₂C₄H₈O; 5-24a, C₃₅H₅₃N₁₁O₁₃·H₂O; 5-24b, C₃₇H₅₇N₁₁O₁₃·¹/₂H₂O; 5-16a, C₁₉H₃₅N₁₂O₆Cl₃·5.5H₂O; 5-16b, C₂₁H₃₉N₁₂O₆Cl₃·5.5H₂O.

c) Molecular weight: found, 781; calcd., 854.

d) Molecular weight: found, 743; calcd., 873.

た。mp >250°C, $[\alpha]_D^{23} -43.1^\circ$ (c0.42, DMF)。

分析値: C, 50.07; H, 7.52; N, 16.61%。

C₅₄H₉₅N₁₅O₁₉·2H₂O としての計算値: C, 50.10; H, 7.71; N, 16.23%。

上記生成物 5-26 (66mg, 0.052 mmol) より 5-13a の場合と同様にして目的物 5-17 (39mg, 78%) を得た。この生成物は経路(1)による生成物と TLC 上完全に一致した (R_f 0.22, フェール-水-濃アノニア水, 30:10:1)。

第6章

Z-ΔAla-OMe (6-3)

化合物 6-1 (600mg, 2.08mmol) のメタノール溶液 (40ml) にヨウ化メチル (4ml) と炭酸水素カリウム (3.00g) を加え、20時間撹拌した。濾過した後、濾液を濃縮して得た残渣に酢酸エチルと水を加え激しく振とうした。有機層を10%クエン酸水溶液、飽和炭酸水素ナトリウム水溶液次いで飽和食塩水で洗浄した後、無水硫酸マグネシウムで乾燥した。溶媒を留去すると無色油状の 6-3 (421mg, 86.1%) を得た。このまま元素分析を行ない次の結果を得た。

分析値: C, 60.56; H, 5.63; N, 6.10%.

$C_{12}H_{13}NO_4 \cdot \frac{1}{5} H_2O$ としての計算値: C, 60.34; H, 5.66; N, 5.86%.

ペプチド中の Azpr(Z) 残基の ΔAla への変換反応に対する一般的操作

Azpr(Z) 残基を含むペプチド (1mmol) をメタノール (25ml) 中、ピラジウム黒触媒を用いて接触還元した。この時 Azpr(Z) 残基がペプチドの N 端以外にある場合は、Azpr 残基の N, N-アシル転位を防ぐ為酢酸 (2mmol) を添加した。

還元終了後、触媒を濾去し、濾液にヨウ化メチル (2ml) と炭酸水素カリウム (1.5g) を加え、20 時間撹拌した。化合物 6-3 の場合と同様の後処理をして目的物を得た。

Z-Cys(Me)-OMe (6-14) の Z-ΔAla-OMe (6-3) への変換

化合物 6-14 (283mg, 1.00mmol) を 6-3 の場合と同一の条件にさらし、一定時間後に上と同様の後処理を行ない油状生成物 (6-14 と 6-3 の混合物) を得た。両者の混合比は混合物の NMR スペクトルにおけるエステル部のメチルシグナル ($CDCl_3$ 中の化学シフト: 6-14, 83.76; 6-3, 83.82) の積分比より求めた。

Z-Azpr(H·HCOOH)-Cys(Me)-OMe (6-15) 中の Azpr 残基の ΔAla への変換

化合物 6-15 (415mg, 1.00mmol) を 6-3 の場合と同様にして 6-16 と 6-17 の混合物 (276mg) を無色油状物として得た。両者の混合比は 6-14 の場合と同様にして求めた。(エステル部のメチルシグナルの化学シフト ($CDCl_3$): 6-16, 83.78;

6-17, 83.88)

次にヨウ化メチルのメタノール溶液 (20 ml) を10時間を滴下して同じ反応を行なうことにより同様の混合物 (335 mg) を得た。

Abbreviations

Z	benzyloxycarbonyl
Boc	<i>t</i> -butoxycarbonyl
Nps	<i>o</i> -nitrophenylsulfenyl
HONSu	N-hydroxysuccinimide
HOBt	1-hydroxybenzotriazole
DCC	N,N'-dicyclohexylcarbodiimide
TFA	trifluoroacetic acid
DMF	dimethylformamide
THF	tetrahydrofuran
Tua	tuberactinamine
Tum	tuberactinomycin
Cpm	capreomycin
Tbd	tuberactidine
Cpd	capreomycidine
Uda	β -ureidodehydroalanine
A ₂ pr	α,β -diaminopropionic acid

References

- 1) E.B.Herr, M.E.Haney, G.E.Pittenger, and C.E.Higgins, Proc. Indiana Acad. Sci., 69, 134 (1960).
- 2) A.C.Finlay, G.L.Hobby, F.Hochstein, T.M.Lees, F.F.Lenert, J.A.Means, S.Y.Pan, P.P.Regma, J.B.Rontier, B.A.Sobin, K.B.Tate, J.H.Kane, Amer. Rev. Tuberac., 63, 1 (1951).
- 3) A.Nagata, T.Ando, R.Izumi, H.Sakakibara, T.Take, K.Hayano, and J.Abe, J. Antibiot., 21, 681 (1968).
- 4) H.Yoshioka, T.Aoki, H.Goko, K.Nakatsu, T.Noda, H.Sakakibara, T.Take, A.Nagata, J.Abe, T.Wakamiya, T.Shiba, and T.Kaneko, Tetrahedron Lett., 1971, 2043.
- 5) B.W.Bycroft, Chem. Commun., 1972, 660.
- 6) a) S.Nomoto, T.Teshima, T.Wakamiya, and T.Shiba, "20th Symposium on the Chemistry of Natural Product (Sendai, 1976)," Symposium Papers, p.32.
 b) T.Shiba, S.Nomoto, and T.Wakamiya, Experientia, 32, 1109 (1976).
 c) S.Nomoto, T.Teshima, T.Wakamiya, and T.Shiba, J. Antibiot., 30, 955 (1977).
- 7) a) S.Nomoto, T.Teshima, T.Wakamiya, and T.Shiba, "Proceedings of the 14th Symposium on Peptide Chemistry," ed. by T.Nakajima Hiroshima (1976) p.109.
 b) T.Shiba, S.Nomoto, T.Teshima, and T.Wakamiya, Tetrahedron Lett., 1976, 3907.
 c) S.Nomoto, T.Teshima, T.Wakamiya, and T.Shiba, Tetrahedron, 34, 921 (1978).
- 8) T.Wakamiya, T.Shiba, T.Kaneko, H.Sakakibara, T.Noda, and T.Take, Bull. Chem. Soc. Jpn., 46, 949 (1973).
- 9) T.Shiba, T.Ukita, K.Mizuno, T.Teshima, and T.Wakamiya, Tetrahedron Lett., 1977, 2681.
- 10) T.Wakamiya, H.Uratani, T.Teshima, and T.Shiba, Bull. Chem. Soc. Jpn., 48, 2401 (1975).
- 11) T.Wakamiya, T.Teshima, I.Kubota, T.Shiba, and T.Kaneko, 47, 2292 (1974).
- 12) B.W.Bycroft, D.Cameron, L.R.Croft, A.Hassanali-Walji, A.W.Johnson, and T.Webb, J. Chem. Soc., Perkin I, 1972, 827.
- 13) a) T.Teshima, S.Nomoto, T.Wakamiya, and T.Shiba, "Proceedings of the 34th Annual Meeting of the Chemical Society of Japan," Kanagawa (1976) p.699.
 b) T.Teshima, S.Nomoto, T.Wakamiya, and T.Shiba, Tetrahedron

- Lett., 1976, 2343.
- c) T.Teshima, S.Nomoto, T.Wakamiya, and T.Shiba, J.Antibiot., 30, 1073 (1977).
- 14) T.Wakamiya and T.Shiba, J.Antibiot., 28, 292 (1975).
- 15) T.Wakamiya, T.Teshima, H.Sakakibara, K.Fukukawa, and T.Shiba, Bull. Chem. Soc. Jpn., 50, 1984 (1977).
- 16) a) T.Teshima, S.Nomoto, T.Wakamiya, and T.Shiba, "Proceedings of the 13th Symposium on Peptide Chemistry" ed. by S.Yamada, Tokyo (1975) p.106.
- b) T.Shiba, T.Wakamiya, T.Teshima, and S.Nomoto, "Proceedings of the 14th Symposium on Peptide Chemistry" ed. by T.Nakajima, Hiroshima (1976) p.127.
- c) T.Teshima, S.Nomoto, T.Wakamiya, and T.Shiba, Bull. Chem. Soc. Jpn., 50, 3372 (1977).
- 17) W.J.McGahren, G.O.Morton, M.P.Kunstman, and G.A.Ellestad, J. Org. Chem., 42, 1282 (1977).
- 18) a) S.Nomoto and T.Shiba, "Proceedings of the 36th Annual Meeting of the Chemical Society of Japan" Kanagawa (1978) p.1119.
- b) S.Nomoto and T.Shiba, Chem. Lett., 1978, 589.
- 19) J.Rudinger, K.Poduska, and M.Zaoral, Collect. Czech. Chem. Commun., 25, 2022 (1960).
- 20) N.Otake, S.Takeuchi, T.Endo, and H.Yonehara, Tetrahedron Lett., 1965, 1411.
- 21) M.Bodanszky, G.Marconi, and A.Bodanszky, J.Antibiot., 22, 40 (1969).
- 22) S.Nomoto, T.Teshima, and T.Shiba, "Proceedings of the 15th Symposium on Peptide Chemistry" ed. by T.Shiba, Osaka (1977) p.139.
- 23) S.Nomoto, T.Teshima, and T.Shiba, J.Antibiot., 31, 792 (1978).
- 24) M.Misumi, N.Tanaka, and T.Shiba, Biochem. Biophys. Res. Commun., 82, 971 (1978).
- 25) S.Lee, H.Aoyagi, Y.Shimohigashi, N.Izumiya, T.Ueno, and H.Fukami, Tetrahedron Lett., 1976, 843.
- 26) Y.Shimohigashi, S.Lee, T.Kato, N.Izumiya, T.Ueno, and H.Fukami, Chem. Lett., 1977, 1411.
- 27) G.Riley, J.H.Turnbull, and W.Wilson, J. Chem. Soc., 1957, 1373.
- 28) F.Brtnik and M.Zaoral, Collect. Czech. Chem. Commun., 41, 2969 (1976).
- 29) B.W.Bycroft, D.Cameron, L.R.Croft, A.Hassanali-Walji, A.W.

- Johnson, and T.Webb, *Experientia*, 27, 501 (1971).
- 30) B.W.Bycroft, D.Cameron, L.R.Croft, A.Hassanali-Walji, A.W. Johnson, and T.Webb, *Nature*, 231, 301 (1971).
- 31) R.Izumi, T.Noda, T.Ando, T.Take, and A.Nagata, *J. Antibiot.*, 25, 201 (1972).
- 32) T.Wakamiya and T.Shiba, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, 48, 2502 (1975).
- 33) a) S.Nomoto, T.Teshima, and T.Shiba, "Proceedings of the 36th Annual Meeting of the Chemical Society of Japan", Kanagawa (1978) p.1122.
- b) S.Nomoto and T.Shiba, submitted to *Bull. Chem. Soc. Jpn.*
- 34) W.M.Stark, C.E.Higgins, R.N.Wolfe, M.M.Hoehn, and J.W.McGuire, *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 1962, p.596.
- 35) a) Y.Nakagawa, T.Tsuno, K.Nakajima, M.Iwai, H.Kawai, and K.Okawa, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, 45, 1162 (1972).
- b) D.H.Rich and J.P.Tam, *Tetrahedron Lett.*, 1975, 211.
- c) A.Srinivasan, R.W.Stephenson, and R.K.Olsen, *J. Org. Chem.*, 42, 2252 (1977).
- d) D.H.Rich and J.P.Tam, *J.Org. Chem.*, 42, 3815 (1977).
- 36) a) S.Nomoto, A.Sano, and T.Shiba, "Proceedings of the 16th Symposium on Peptide Chemistry", ed. by N.Izumiyu, Fukuoka (1978) in press.
- b) S.Nomoto, A.Sano, and T.Shiba, *Tetrahedron Lett.*, in press.
- 37) F.C.M.Chen and N.L.Benoiton, *Can. J. Chem.*, 54, 3310 (1976).
- 38) E.Gross and J.L.Morell, *J. Amer. Chem. Soc.*, 93, 4634 (1971).

謝 辞

本研究は大阪大学理学部芝研究室において行なわれたものもあり、終始暖かい御指導を賜わりました芝哲夫教授に心から御礼申し上げます。

また実験上の問題などについて御指導、御助言をいただき、有意義な討論をしていただきました若宮建昭助手並びに豊島正助手に御礼申し上げます。本研究を行なうにあたり御助言をいただき御協力していただきました広津順弘助教授、楠本正一助教授をはじめとする芝研究室の皆様には感謝します。

本研究に使用したツバラウチノマイシンを御提供いただき、また抗菌力を測定していただきました東洋醸造株式会社研究所の皆様には感謝します。分子量測定にあたり御便宜をはかっていただきました大川乾次教授とその御研究室の皆様には感謝いたします。また比旋光度の測定にあたり御便宜をはかっていただきました乾利成教授には感謝いたします。