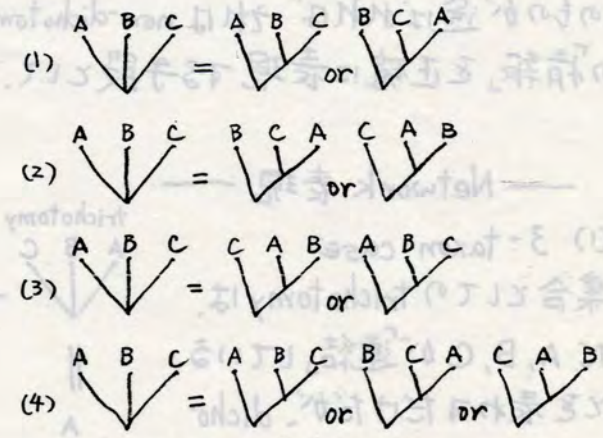
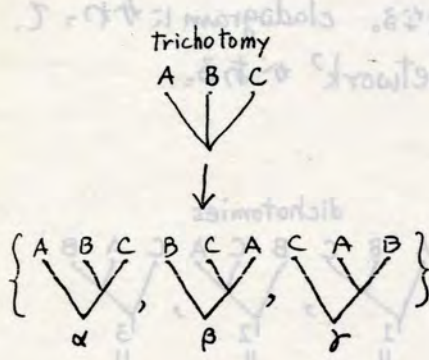


— Network Representation —

Cladogram に含まれる 'multiple branching' (即ち non-dichotomy) は、note 6 で述べたように、dichotomous cladogram では表現できない形質分布 (多重種分化・祖先-子孫関係・種間交雑) を表示する能力がある。また non-dichotomy は conflicting characters が存在する場合にもやはり生じる。とすると、ここである non-dichotomous cladogram が与えられた時、それを見ただけでは、いったいどんな形質情報が含まれているのかがわからない、という問題点が出てくる。つまり、non-dichotomy は意味が曖昧なのである。形質の「欠除」は 'tree' を用いれば一意的に表示できるが、形質の「不一致」は cladogram でも tree でも一意的に表現できない。

3-taxon の場合の形質の「不一致」を考えてみよう。次の4つの場合がある



< 4 Interpretations >

集合としての Trichotomy は α, β, γ の3つの dichotomies が要素として含まれている。与えられた形質集合に対し、この α, β, γ のうち任意の二つ或は三つすべてが同程度に最適であると判定されたならば、単一のグラフで表現しようと思えば trichotomy で示すしかない。例えば (1) の場合、即ち α or β は、右表の形質集合に対して生じる。このとき、D2 と D3 タイプの形質が不一致をおこし、その結果 α と β が同程度に最適で (スコア3)、スコア4の γ よりもすぐれている (α or β の 'or' とは α と β が「同スコア」であって、どちらか一方を選ぶべき理由

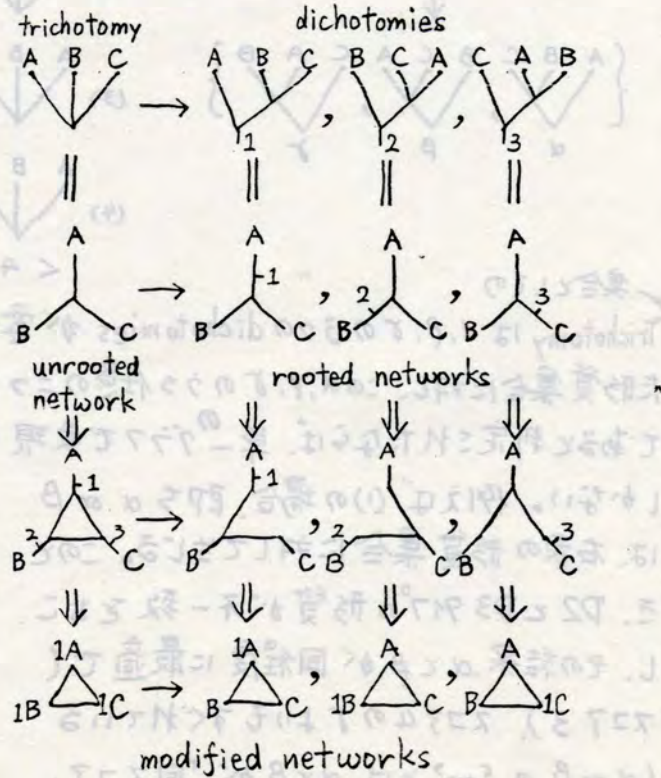
	D2	D3
A	+	-
B	-	+
C	-	+

がないことをあらわしている)。ここで重要なことは、 γ は他の二つに比べて劣っているということである。

上例からもわかるように、trichotomy を見ただけでは、その4つの解釈のうちどれが妥当なのか、そこに含まれる α, β, γ のうちどれが優れていてどれが劣っているのかが全くわからないのである。形質間の「不一致」は一つの cladogram によって正確に表現することはできない。上例の4つの場合はすべて trichotomy で表わされるが、(4)は3つの α, β, γ がすべて同程度に最適であるのに対し、(1)~(3)は3つのうち1つが他の2つよりも劣っている。つまり、(1)~(3)はそれぞれ3つの可能性が2つに限定されているという意味で(4)よりも 'informative' である。ここでいう「情報」とは、「限定された可能性」という意味である。3-taxon dichotomous cladograms の3つの可能性からただ一つのもが選ばれればそれは dichotomy となり、二つ以上のものが選ばれればそれは non-dichotomy となる。cladogram にかわって、この「情報」を正確に表現する手段として、'network' がある。

— Network 表現 —

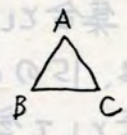
(1) 3-taxon case
集合としての trichotomy は、ただ A, B, C が「連結」していることを表わすだけだが、dichotomy は A, B, C の連結性に加えて、それぞれの dichotomy に特有の「根」('root': 右図では 1, 2, 3 と表示した)をもっている。とすると、trichotomy は「根」をもっていない 'unrooted network' で表現され、一方 dichotomy は「根」を指定した 'rooted network' で表現される。



この network を次のように単純化する (I 図参照)。

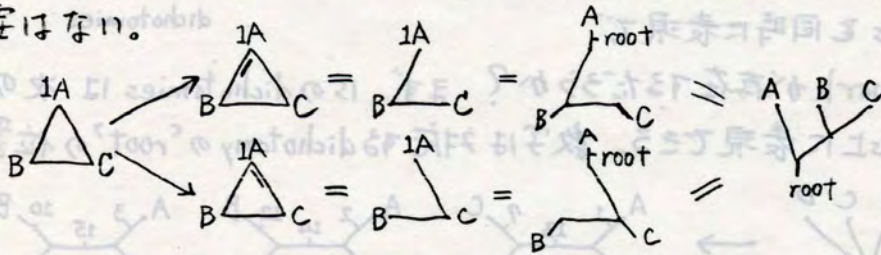
1) rooted network を図のように変形する。変形した3つの rooted networks を重ね合わせて unrooted network とする。unrooted network に記入された 'roots' 1, 2, 3 は、指定され得る 'root' の可能性としてその3つがあることを示す。

2) 1で得られた rooted 及び unrooted networks は更に変形すると、Graph 理論でいう $n=3$ の「完全グラフ」(complete graph) (⇒右図) に等しくなる。



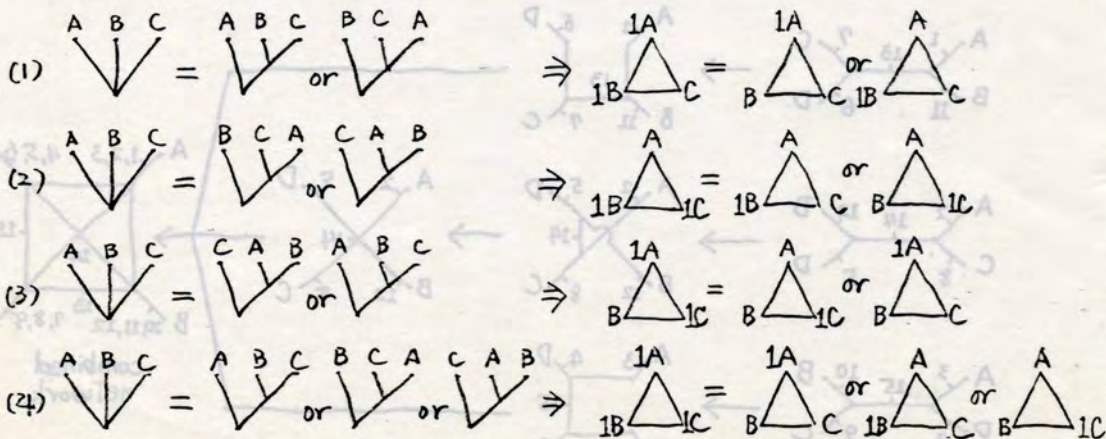
3) 'root' の指定は数字で与える必要はなく、その位置さえわかればよい。そこで 'root' から最も近い taxon に '1' ('1'本の 'root' を意味する) を書き加えることにより、その位置を表示する。unrooted network の場合も同様である。

ここで rooted network の完全グラフによる表示について一言：完全グラフでは経路 (pathway) の方向 (短線 '-') で示す) により、次の二つの解釈が可能であるが、この二つは全く同一である。そこで、あえて経路の方向を図示する必要はない。



このような変形を施して得られた network を 'modified network' と呼ぶ。3-taxon では、modified network は完全グラフによって表現できる。

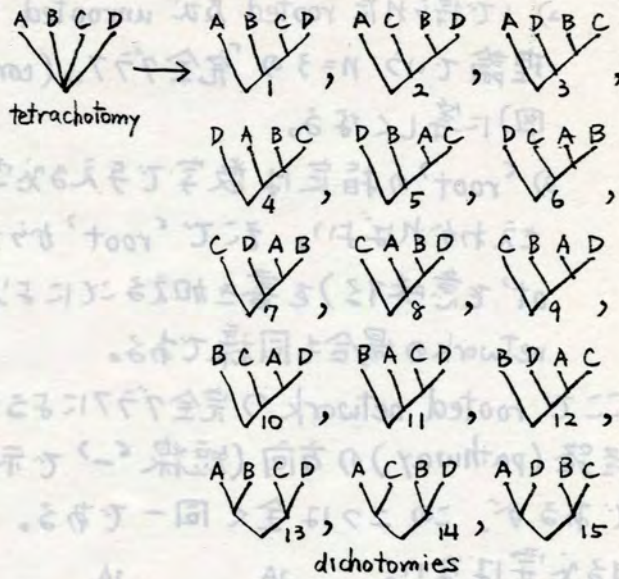
以上の方法を用いて、①頁で与えた4つの場合を表示する。



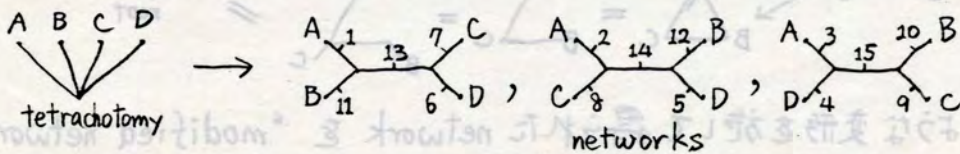
明らかに、cladogram (trichotomy) では区別できなかった4つの形質分布が modified network を用いれば区別できることがわかる。また 'root' の数を合計すれば、dichotomyの3つの可能性がいくつまで限定されたかがわかる。

(2) 4-taxon case

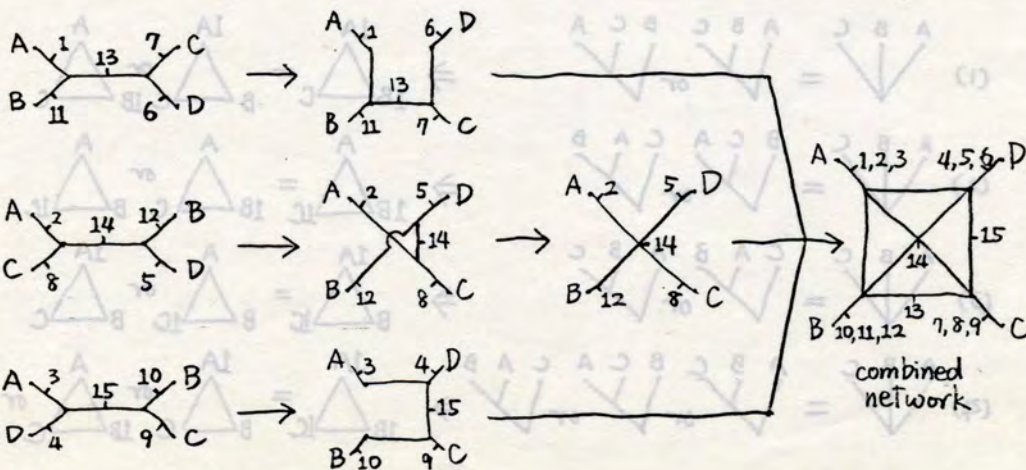
集合としての tetrachotomy は、15の dichotomies を要素として含む。既に見たとお、trichotomy に対しては、その3つの dichotomies の可能性を同時に表現できる network (完全グラフ) が存在した。それでは、tetrachotomy に対しても、15の可能な dichotomies を同時に表現できる network が存在するだろうか？



まず、15の dichotomies は次の3つの networks 上に表現できる。数字は対応する dichotomy の 'root' の位置である。



次のこの3つの networks を更に圧縮して単一の network とするため、下の変形を施す。勿論、それは network の連結性を保存する変換である。



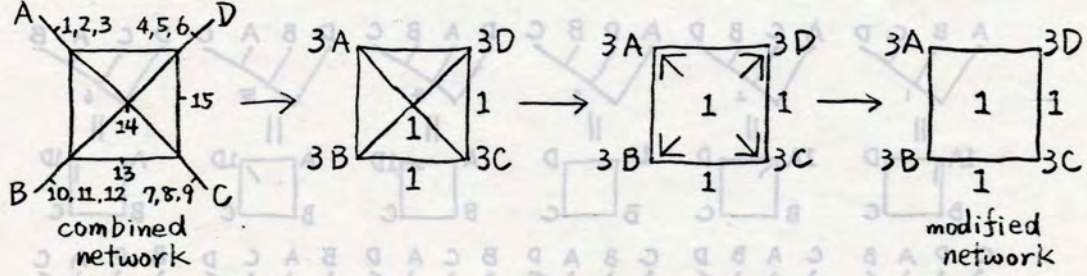
上からわかるように、はじめの3つの networks は適当な変換をすると、'combined network' という単一の図に圧縮できる。

3-taxon の場合と同じく、network の単純化をしておくとう便利である。

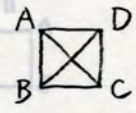
1) 'root' の数値による指定は不必要である。'root' の位置は、それに最も近い taxon に記入する。ある taxon に最も近い 'roots' の個数は、その taxon の前に付ける。

2) 経路 (pathway) は、ある taxon に属する 'root' が複数個存在する時は、その方向を短線 '—' でもって指定する。もちろん、その taxon が3個の 'roots' を持つときは、それで全ての場合が尽くされているのだから、経路の方向をわざわざ記入する必要はない。

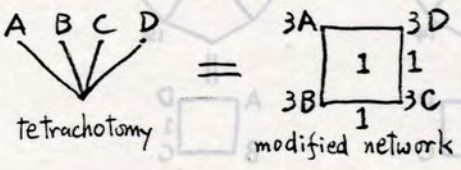
この単純化を施すと次のようになる。



上の単純化の過程 (特に左から二番目の図) からわかるように、combined network (およびそれを単純化した modified network) は、Graph 理論でいう $n=4$ の「完全グラフ」(complete graph) (⇒右図) と事実上等しくなる。



この modified network を用いると、tetrachotomy が含む 15 の dichotomies は、次のように図示できる。



次に、この modified network 上に、あらゆる 917° の 4-taxon cladogram が表現できることを示す。4-taxon cladogram の 917° ('clade-type') には次のものがある。

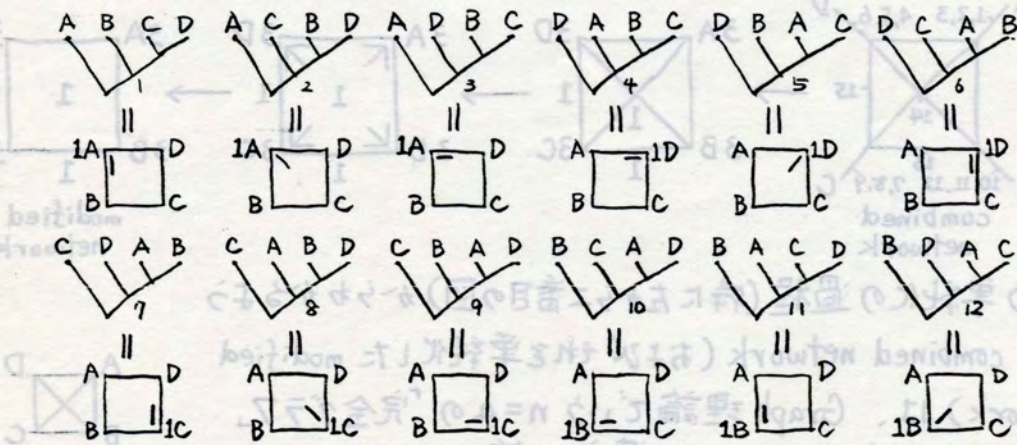
- Primary Cladogram (15個)

- clade-type T+S+P (12個)
- clade-type T+P₁+P₂ (3個)
- Secondary Cladogram (10個)
- clade-type T+S (4個)
- clade-type T+P (6個)
- Tertiary Cladogram
- clade-type T (1個)

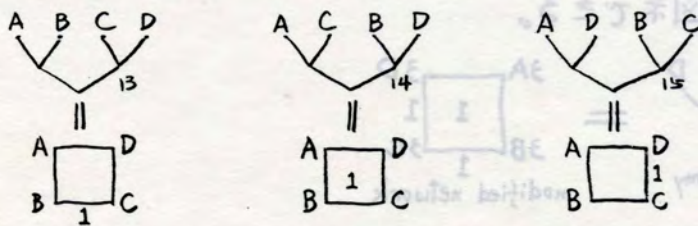
tertiary cladogram とは tetrachotomy に他ならず。その network 表示は 1 に与えたばかりである。以下では primary 及び secondary cladograms が問題となる。

< primary cladogram >

1) clade-type T+S+P



2) clade-type T+P₁+P₂



< secondary cladogram >

1) clade-type T+S

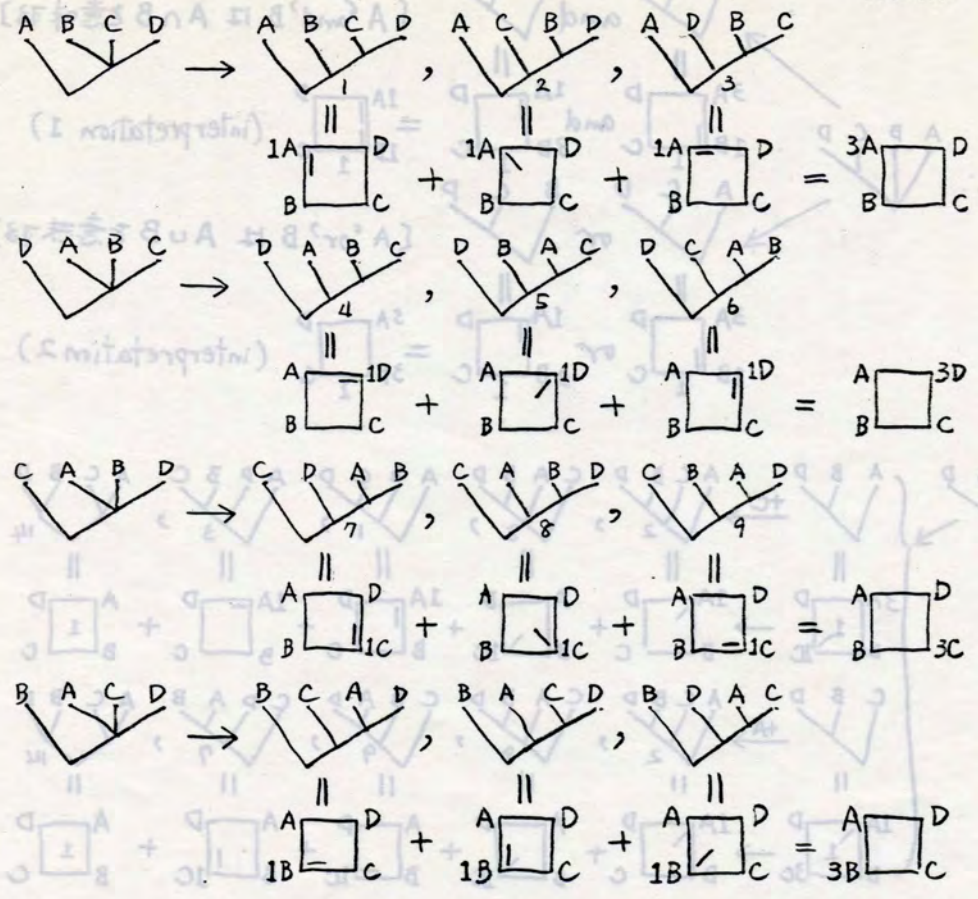
いわゆる 'terminal trichotomy' である。ここでは trichotomy は dichotomies の集合とみなしておく。dichotomy の番号は上と同じ。

⑧

cladogram

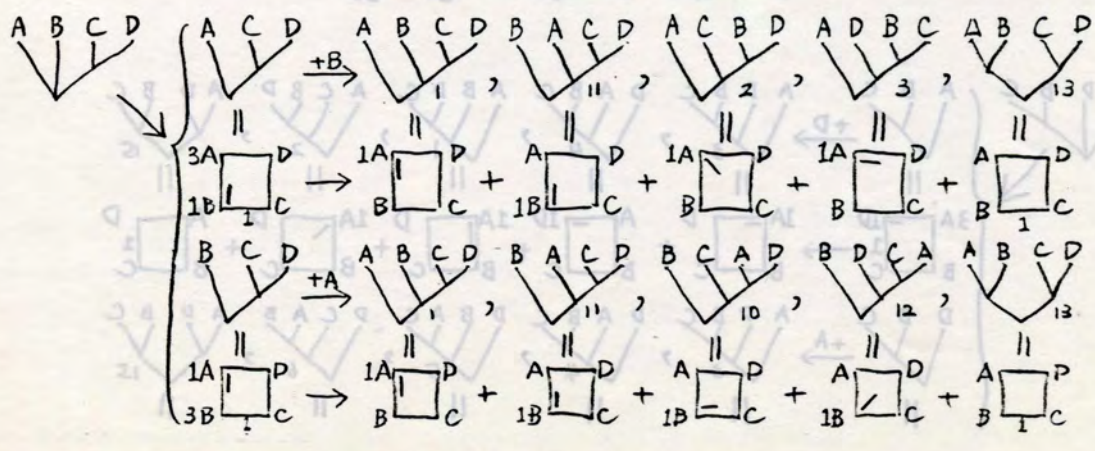
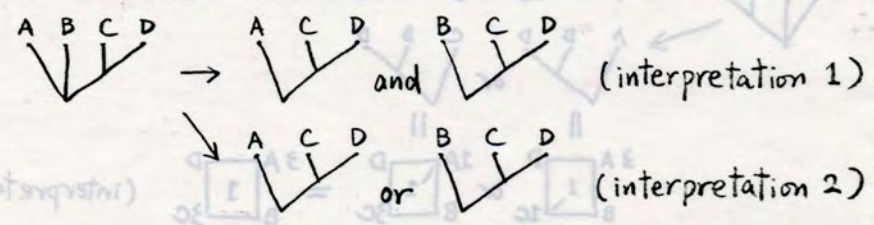
network

⑦



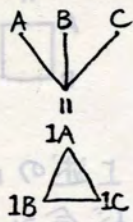
2) clade-type T+P

いわゆる 'basal trichotomy' で、note 6 (Multiple Branching) で見たように二つの解釈が可能である。たとえば

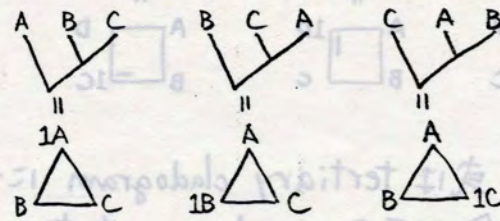


3-taxon case

< tertiary >

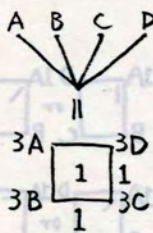


< primary >

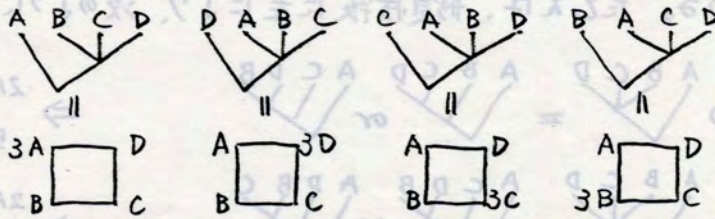


4-taxon case

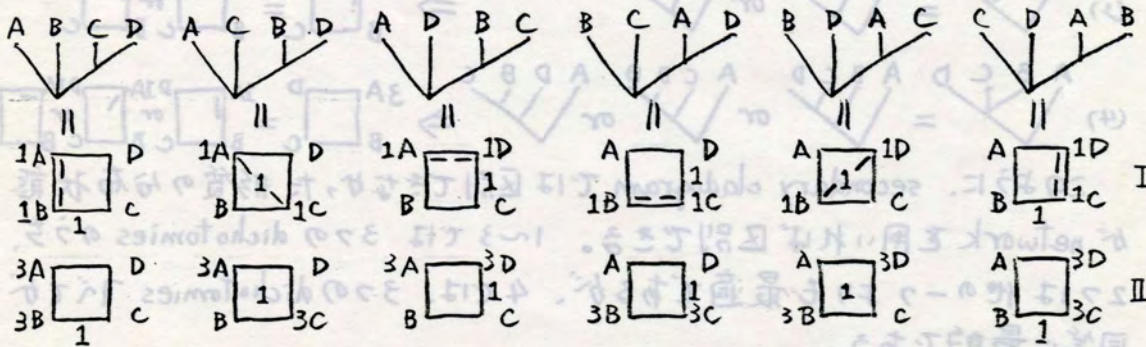
< tertiary >



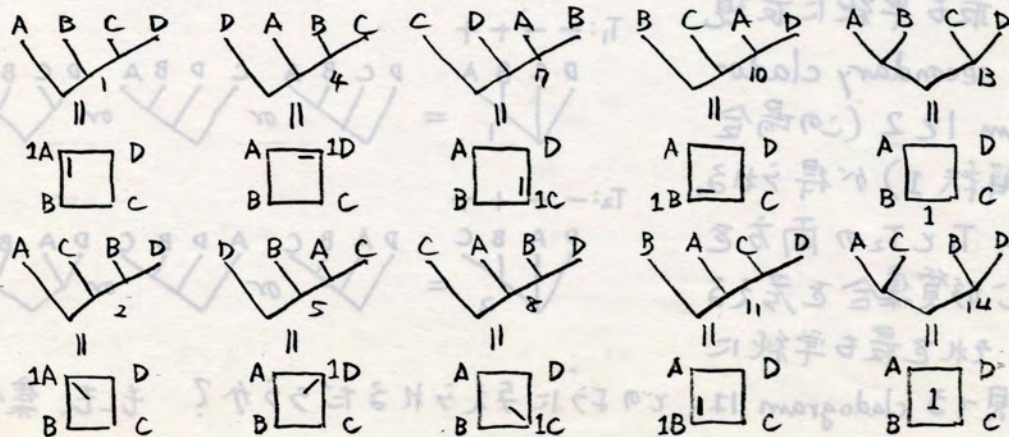
< secondary (T+S) >

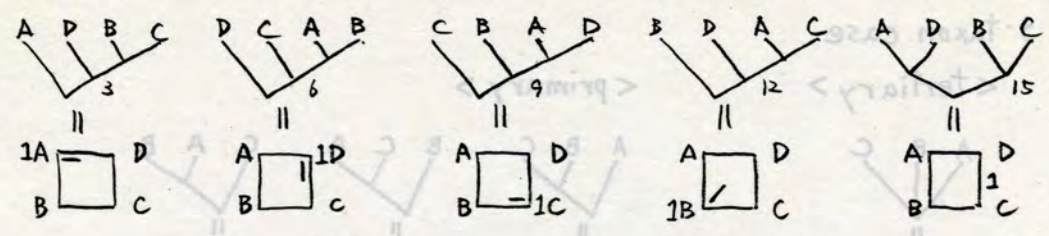


< secondary (T+P) >

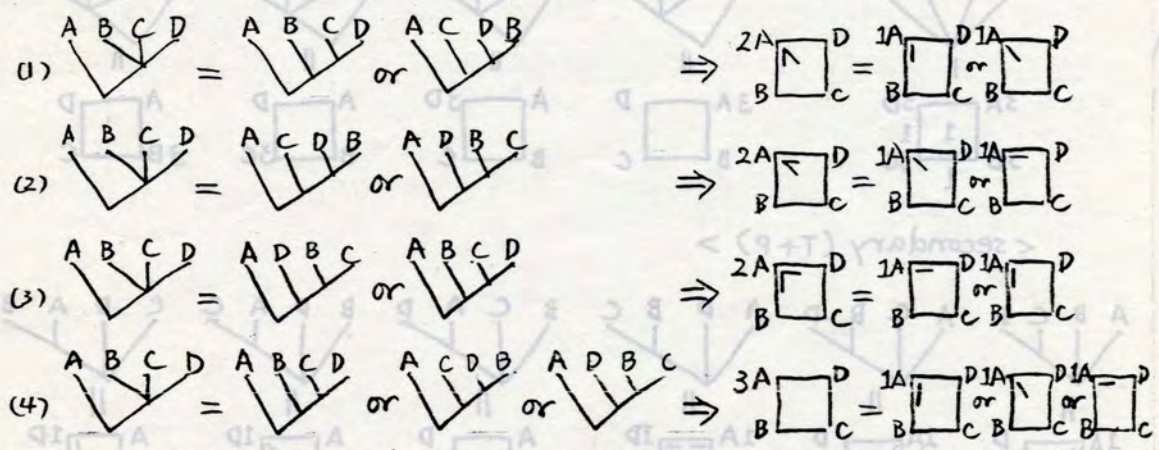


< primary >





secondary 或は tertiary cladogram について一言：上述の network 表現は、集合としての secondary or tertiary cladogram が含みうるすべての要素 (可能性) をあらわしている。しかし、与えられる形質情報により、実際には、いくつかの解釈が可能である。ここでは 3-taxon の場合と同じである。たとえば、形質情報に差により、次のようになる。



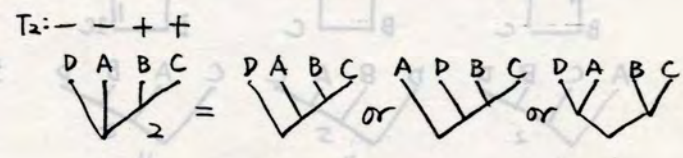
このように、secondary cladogram では区別できなかった形質の分布状態が network を用いれば区別できる。1~3 では 3つの dichotomies のうち、2つは他の一つよりも最適であるが、4では、3つの dichotomies すべてが同等に最適である。

極端なものとして、次の例をあげる。ある形質 T_1 と T_2 に対し、それぞれを最も単純に表現

する secondary cladogram 1と2 (この場合は解釈1) が得られる。

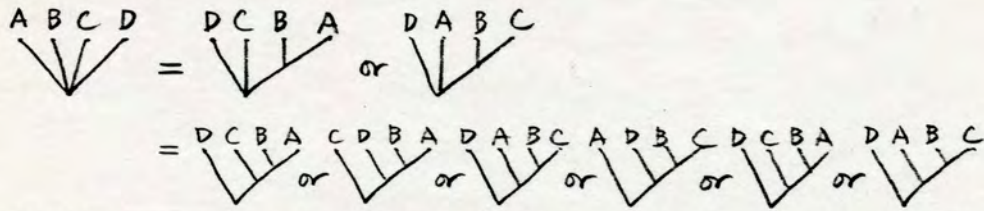


いま、 T_1 と T_2 の両方を含む形質集合を考えると、それを最も単純に

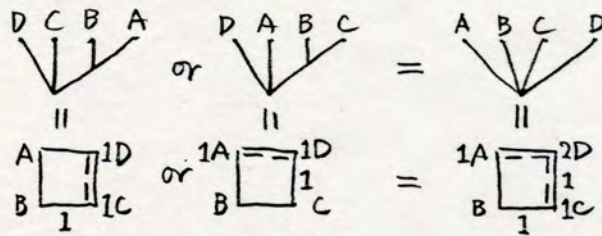


表現する cladogram は、どのように与えられるだろうか？ もし、集合と

しての1と2が共通要素(primary cladogram)を持っていれば、その共通要素が、その形質集合に対する最適表現である。ところが、前頁の1と2の要素の中には共通のものが一つもない。つまり、 T_1 と T_2 が両方あるとき、それに対する最適表現は、次の解釈をもつ tertiary cladogram (つまり tetrachotomy) であらわされる。



ところが既に見たように、集合としての tetrachotomy は 15の可能性を持つが、上の tetrachotomy は 6の可能性しか許していない。この場合もまた cladogram を用いてその差を表現することはできない。network を用いれば、この点を正確に表現できる。



つまり、network を用いれば、dichotomous cladograms のあらゆる組み合わせが表現できる、ということである。non-dichotomous cladogram では、どの組み合わせが表現されているのかが、まったくわからないのである。

$n \geq 5$ の場合も、適当な規約を置けば、完全グラフ上に cladistic structure を表現できると予想されるが、どうだろうか？

以上述べてきたことは、non-dichotomy (= multiple branching) がもつ意味の曖昧さを、network 表現を用いて解消しようとする試みである。cladogram の使用をやめて、代わりに network を使うことも可能であり、その方が情報伝達の正確さは増すだろう。しかし、cladogram の方が直感的にわかりやすいのもまた事実である。