

就任講演

椎骨の形態について

篠原治道

富山医科薬科大学医学部看護学科人間科学教室

はじめに

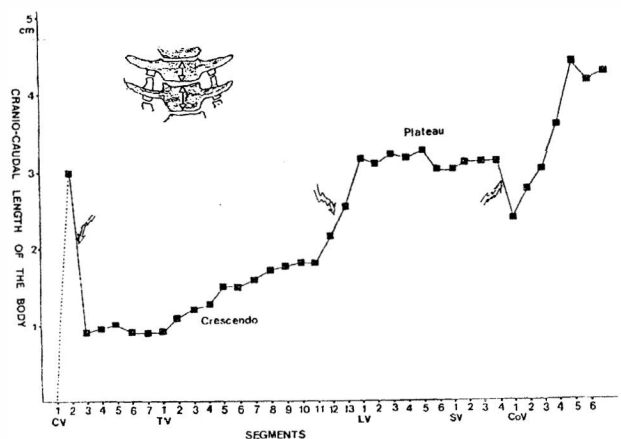
肉眼解剖学において、椎骨の形態は古典的発生学および比較解剖学に基づいて理解され、解釈されてきた。例えば、椎骨は前方構造としての椎体と後方構造としての椎弓に二分されるが、この区画は椎骨発生過程における化骨中心がこれら二部に大別できるからである。また、我々は時に頸肋や腰肋を見るが、これらは動物によっては恒常的に発生するので、ヒトに発生した場合は、いわゆる先祖返り atavism と考えるのが比較解剖学の立場である¹⁾。しかしながら近年の分子レベルでの学問的進歩は古典的発生学に新知見をつけ加えるとともに、多くの点で訂正を迫っている。つまり、従来の肉眼解剖学の基盤が揺らいでおり、肉眼解剖学者はこれに対応する必要に迫られている。

椎骨の形態そのものについて言えば、Vesalius (1514-1564)が見た肉眼解剖学的事実と現在の我々の眼に見えるそれとは違いがない。しかし、物を観る視点が違えば、別な視点からは何らの価値も認めることのできなかつた形態が大きな価値を持つことがある。その意味で、マウスおよびヒトの椎骨の形態を古典的発生学や比較解剖学から離れた立場から、観察しはじめた。

マウス椎骨の形態

マウスの脊柱は7個の頸椎、13個の胸椎、6個の腰椎、4個の仙椎が癒合してできた1つの仙骨および31個の尾椎からなる。ヒトでは癒合傾向が著しい尾椎がマウスでは完全な独立骨となっている。脊柱側面観では頸-腰部および胸-腰部に curvatures があることはヒトと同じで、仙骨が直線的かつ平面

的である点はヒトと異なる。全椎骨を眺めると骨の構成部分(例えば椎体、横突起、棘突起など)が徐々に拡大したり(crescendo)、縮小したり(decrescendo)することがわかる。尾はその明白な例で、尾椎のあらゆる構成部分は尾根から尾尖まで単調な decrescendo を示している。これらの構成部分は、大きさ、方向性、厚み、形状といった、さらなるいくつかの構成要素の集積によってできており、各々の構成要素自体が crescendo, decrescendo あるいは plateau を示している。いわば、脊柱は数分節にまたがり単純な crescendo/plateau/decrescendo を示す構成要素の集積によって形成されるのが基本である。Fig. 1 は椎体の頭尾長計測値をグラフ表示している。第1頸椎(CV1)には椎体と呼ぶべき構成部分が存在しないので0にプロットしてある。CV2には dens axis と呼ぶ特殊な構成部分があるので極度に大きな頭尾長を示す。CV3から第11胸椎(TV11)まではゆるやかな、以降、第1腰椎(LV1)までは急な crescendo を示している。LV1から第4尾椎(CoV4)までは概ね plateau を示す。こうしてみると、前述の単純



なcrescendo/plateau/decrecendo patternの他に、椎体には構成要素の明らかな変化をもたらす、いわば変曲点とでも呼ぶべき頭尾軸上の位置があることがわかる。椎体頭尾長の変曲点はCV 1-2-3, TV11-12, TV13-LV 1, CoV 4-5 等である。もう1つの例を椎骨棘突起にとる (Fig. 2)。棘突起頭側縁が椎体長軸に対してなす角度を計測した。90度を境にしてこれより小さな角度で棘突起は頭側へ向き、大きくなると棘突起は尾側へ向く。委細はともかく、90度で線引きする(破線)とTV10-11間に大きな変曲点のあることがわかる。然らば、椎骨構成要素の形態的推移は常にこのような明瞭な変曲点を有するのだろうか? CV領域では棘突起自体が短小なため棘突起前縁がなす角度を計測できない。TV領域に入って漸く棘突起の大きさが増し、TV2-7では計測可能となるとともに角度はcrescendoを示す。しかし、Fig. 2のopen squaresで示すように、この角度の立ち上がりは動物によりかなりのバラツキを示す。つまり、形態的推移の全体的方向性は一定しているが、個々の推移自体には画一性が乏しい。同じような推移の非画一性は、観察例数が少ないので断定はできないにしても、椎骨横突起が椎体に対してなす前頭面上あるいは水平面上の角度についても指摘することができる。

マウスの観察結果と考え方

Drosophilaに限らず、マウスにおいても体は頭尾軸に沿った分節配置を有し、各分節はgene hierarchy

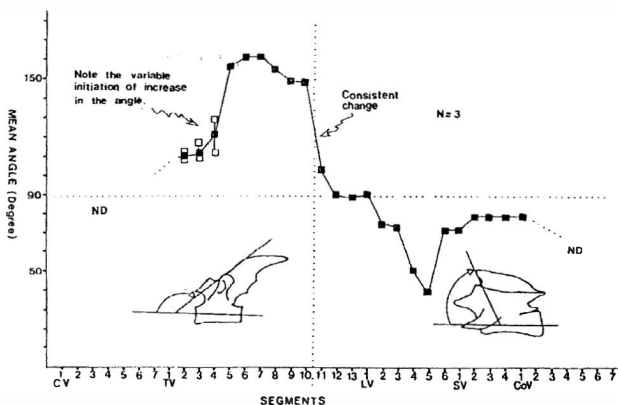


Fig. 2 Orientation of the spinous process

によってスキームされた結果として形成される。Grussら²⁾は椎骨の各分節がいくつかの異なるHox genesの組み合わせ(Hox code)によって特徴づけられると考えている。例えばHox1.1のgain-of-functionでは³⁾proatlasの出現やdens axisの消失がおり、いわゆるposterior transformationが生じる。これはHox1.1が関連したHox codeが変化するため、CV 1という分節の特徴が後方へ移動したと解される。Hox1.1がCV 1やCV 2の椎体形成に直接関与するわけでは勿論ないが、発生過程の特定時期におけるその発現異常が椎骨の特定の構成部分に、大きな影響を与えることは明かである。この種の実験結果から肉眼解剖学者が学びとるべきimplicationsは幾つもある。前に観察したように、正常マウスはatlasで椎体を欠如し、axisがdens axisという特殊な構造を持つ。古典的発生学ではatlasの椎体がdens axisへ取り込まれたと考えるが、この相互関係は遺伝子の面から支持されたことになる。一方、古典的発生学の主張とは相いれない面がある。例えば、椎骨を形づくる全ての構成部分が全ての椎骨に共通ではない可能性がある。各分節の特徴をスキームするHox codesの全てに共通のHox geneは知られていないからである。ところで、マウス椎骨構成部分の長さ、角度、形状などの要素が数分節(或いはそれ以上の分節)を一単位としてcrescendo/plateau/decrecendo patternを示すことは何を意味するのであろうか? Hox geneと実際の椎骨形成との間には、多数の遺伝子が介在することが知られている⁴⁾。我々が観察する形態はそれらの総和としての表現形態である。その総和的形態の各部分が一つの形態形成因子によってできると仮定し、その因子が頭尾軸に沿った数分節にまたがって単純に増減すると考えると都合がよい。

ヒト椎骨の観察

ヒトの脊柱は7個の頸椎、12個の胸椎、5個の腰椎、1個の仙骨からなる。個々の椎骨は幾つかの構成部分に分けることができ、その各々が長さ、角度、厚みなどの構成要素をもつ。これらの構成要素が基本的には数分節にまたがる単純なcrescendo/plateau/decrecendo patternを示すのはマウスと同様である。単純な変化に加え、その単純さを錯乱させる

変曲点をもつこともマウスと同様である。また、その変曲点には頭尾軸上の一定の部位に安定しているものと、個体により多少のバラツキを示すものがあることもマウスと同様である（実際にはヒトの方がバラツキを示す変曲点を多数持つように見える。それはヒトでは骨自体が大きいので構成要素の細かい点まで計測可能だからである）。ヒトの骨格観察には例数の限界が常にある。特に、バラツキをもつ変曲点の分布を検証するにたる例数を確保することは極めて困難である。しかし、椎骨関節突起の形状変化は少数例でも指摘しうる、バラツキをもつ変曲点の一つであり、これについて以下に述べる。

ヒト椎骨上関節突起の形状変化について

上関節突起の形状は下部胸椎から上部腰椎にかけて変化することが知られている。胸椎における上関節突起面は平坦で、後側・外側へ面する、いわゆる胸椎型を示す。一つの胸椎における左右の胸椎型関節面の方向性は二律背反性を持つので背腹方向への滑り以外の可動性に乏しい。腰椎におけるそれは凹形であり、内側面へ面する、いわゆる腰椎型を示す。一つの腰椎における左右の腰椎型関節面の方向性は水平面上の回転運動を許容するが背腹方向への可動性は殆どない。長らく、胸椎型から腰椎型への変化は第11胸椎から第12胸椎へかけての、2分節で起こる急速な変化であるとされてきた⁵⁾。しかし、32体の脊柱標本（金沢大学医学部蔵 田中重徳教授のご厚意による）観察結果は必ずしもこの定説を支持しない（Table 1 参照）⁶⁾。確かに21例、66%の脊柱では定説のように2分節で急速に変化するが、第11胸椎から第12胸椎へかけて起こる変化が3/1、第12胸椎から第1腰椎へかけて起こる変化が3/2を占める。残りの11例、34%の脊柱では3分節にまたがる緩徐な変化を示す。これらの例では胸椎型と腰椎型の間期的な関節面が出現する。平坦面ではあるが、後外側へは面しないものや左右で著しい関節面の非対称のもの等が出現する。また、変化のレベルは第11胸椎から第1腰椎へまたがるものが7例、第12胸椎から第2腰椎へまたがるものが4例である。つまり、関節面の形状という構成要素の変曲点のバラツキは頭尾軸上の2から3分節にまたがり、左右が必ずしも同じ変曲点を持つわけではないことが明か

Table 1 Patterns of change from the thoracic to the lumbar type of articular surface. The asterisks indicate four patterns of the gradual change. The number within parentheses are percentages and those without are the numbers of cases. The abbreviations in the vertical column signify surface characteristics and orientations of the articular surface, i.e. flat (F), concave (C), dorsolaterally oriented (DL) and dorsomedially oriented (DM).

	Changes over 2 segments 21 (66)		Changes over 3 segments 11 (34)			
	14(44)	7(22)	4(13)	3(9)	3(9)	1(3)
T11						
F (100)						
C (0)						
DL (100)						
DM (0)						
T12						
F (73)						
C (27)						
DL (56)						
DM (44)						
L1						
F (8)						
C (92)						
DL (2)						
DM (98)						
L2						
F (0)						
C (100)						
DL (0)						
DM (100)						
Age range (y)	16-81	19-80	23-67	15-78	72,81	23
Males	9	4	2	1	1	1
Females	2	2	1	2	1	0
Number of un-documented cases	3	1	1	0	1	0

ある。さらに、これらの出現した変化から推定したさらに出現しうる変化はたくさんあることも明らかである。つまり、例数さえ増せばもっと様々なレベルの、多様な形状や、左右差が生じる可能性がある。

椎骨上関節面の形状変化は従来考えられているよりも多様性をもつことは解かったが、それが臨床的

意味を有する可能性はあるか？は気になる疑問である。椎骨関節突起の主な役割は2つある。1つは荷重負担であり、もう1つは運動域の規制である。通常姿勢における荷重負担は多く椎体-椎間板により、関節突起面の貢献は殆どない。しかし、体幹部伸展時などにおいては関節突起面にも荷重の分担が生じるとされる。関節突起面の荷重についてはこの条件を前提にして考慮する必要がある。それはともかく、ある胸椎レベルの上関節突起面はその上位椎骨の下関節突起面を腹側・内側から背側・外側へと支える。これに対し、ある腰椎レベルの上関節突起面はその上位椎骨の下関節突起面を外側から内側へと支えることになるが、この関節面が可動性を持つぶんだけ、支持機能が低下すると考えられる。その結果、胸椎型から腰椎型への移行分節では上位椎骨にかかる荷重と下位関節突起による支持の関係が他の分節とは異なると思われる (Fig. 3)。この移行が2分節でおこるか3分節にまたがって起こるかは、恐らく下位分節による支持機能の弱화가急に起こるか、緩やかに起こるかを示すであろう。Davis⁷⁾は急速な関節突起面の移行が腰部におけるlocking mechanismの主要な要素であると主張している。つまり、2分節移行の上部椎骨の可動性と下部椎骨の可動性とが共通しないので、この部で脊柱の可動性制限 lockingが生じるという。更に、関節突起面に荷重がかかるような状況下でlockingが生じると、この部の損傷が起こりやすく、パラシュートの着地事故やある種の交通事故ではこの移行部椎骨に損傷が頻発することを指摘している。彼のlocking mechanismは2分節で急に生じるとの前提に立つが、それは2/3の例で成立する。しかし、残りの1/3ではもっと緩やかなlockingが成立しているので、2分節移行例とは異なった状況があると思われる。

始めに述べたように、現在、かつては肉眼解剖学の不動の基盤であると考えられていた発生学的事実や比較解剖学上の概念が分子レベルの知見にその座を譲りつつある。つまり、paradigm shiftが起こっている。それに伴い、肉眼解剖学における新たな視点が開け、これまでさして問題とはされなかったような事実が意味を持つ場合もでてくる。ノックアウトマウスならぬノックアウトヒューマンを使った分子レベルの知見を得ることが事実上不可能である以上、他の動物における実験的知見をヒトにextrapol-

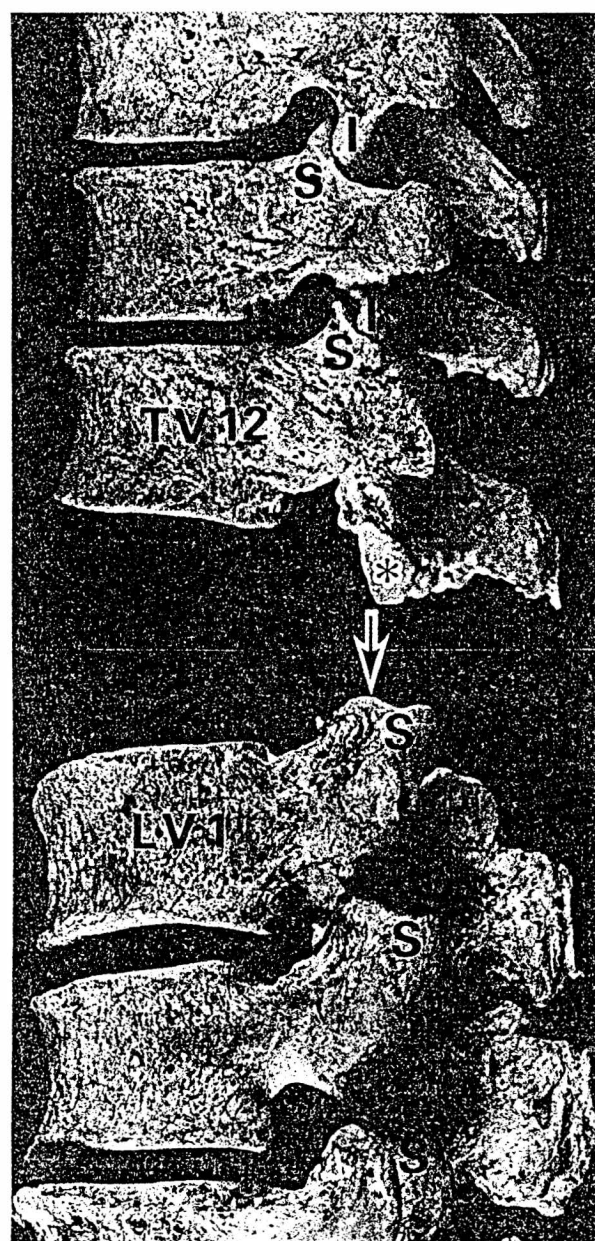


Fig. 3 The cover and covered relationship of the superior and inferior articular surfaces. Note that both the superior and inferior articular surfaces of the 12th thoracic vertebra are covered by the adjacent articular surfaces. The cover-covered sequences in both the thoracic and lumbar vertebrae are interrupted at this vertebra. The asterisk indicates the convex inferior articular surface that is to be covered by the superior articular surface of the next vertebra (arrow). S, superior articular process; I, inferior articular process.

ateする作業は肉眼解剖学者に課せられた重要な役割であると思われる。

文 献

- 1) Bateson W.: Materials for the study of variation. pp. 102-128, MacMillan, 1894.
- 2) Kessel M., Gruss P.: Homeotic transformations of murine vertebrae and concomitant alteration of Hox codes induced by retinoid acid. *Cell* **67**: 89-104, 1991.
- 3) Kessel M., Balling R., Gruss P.: Variations of cervical vertebrae afterexpression of a Hox-1.1 transgene in mice. *Cell* **61**: 301-308, 1990.
- 4) Erlebacher A., Filvaroff E. H., Gitelman S. E. et al.: Toward a molecular understanding of skeletal development. *Cell* **80**: 371-387, 1995.
- 5) Bannister L. H., Berry M. M., Collins P. et al.: Axial skeleton, In; Gray's Anatomy, 38th ed., pp. 265-271, Churchill Livingstone, 1995.
- 6) Shinohara H.: Changes in the surface of the superior articular joint from the lower thoracic to the upper lumbar vertebrae. *J. Anat.* **190**: 461-465, 1997.
- 7) Davis P. R.: The thoraco-lumbar mortice joint. *J. Anat.* **89**: 370-377, 1955.