

仙腸関節のモデル化へ向けた取り組み —仙腸関節の安定性に関する考察—*

Challenge to Model Sacroiliac Joint. —The Study on Stability of Sacroiliac Joint.—

吉岡一貴*¹

Kazutaka YOSHIOKA

■要旨

筆者はこれまでに仙腸関節に関する独自の考察を行ってきたが、残念ながらそれらが正しい理論であると主張するだけの証拠はまだない。今後研究を続けるに当たって必要となるのは、客観的な検証である。特に工学的な観点からの検証は必須であろう。そのためにも、これまでの持論を一度総括し、理論の主要部分を抽出した仙腸関節機能のモデル化が必要であると強く感じている。

そこで本稿ではモデル化を目指した取り組みの一環として、仙腸関節の荷重支持形態と安定性について考察した。その結果、仙腸関節の荷重支持形態は関節面に対する圧縮力と靭帯の張力によるものであり、中間位ではこうした支持性は得難く、不安定にゆらぎながら左右の均衡を保つという結論が得られたので、ここに報告する。

◇キーワード：仙腸関節、安定性、圧縮力、張力、ゆらぎ

■Abstract

The author has been discussing about the sacroiliac joint from one's own standpoint, however, the author's theory remains unsupported by evidence. To continue the study the objective verification is necessary. Especially, the ergonomic verification is indispensable. This time the author feels the necessity of summarizing one's theory and expressing the primary-modeled functionality of the sacroiliac joint.

This paper discusses the anatomical configuration supporting load and its stability as one of efforts to seek for the primary-modeled functionality of the sacroiliac joint. The author reached to the following conclusions; the anatomical configuration supporting load is depended on the articular compression force and ligamentous tensional force, as the ability to support load is less in neutral position the bilateral sacroiliac joints hold the equilibrium by unstably rocking.

◇Keyword : sacroiliac joint, stability, forces of compression and tension, rocking

1. はじめに

筆者はこれまでに仙腸関節に関する独自の考察を行ってきたが、それは既存の理論に統一性がなく、その中に妥当性が高いと思われるものが見当たらなかった点に端を発する。これまで発表してきた考察に関してはある程度の整合性は保たれているものと自負しているが、残念ながら現時点でこれを正しい理論であると主張するだけの証拠はない。

今後研究を続けるに当たり、客観的な検証、特に工学的な観点からの検証は必須である。そのためにも、これまでの持論を一度総括し、理論の主要部分を抽出した仙腸関節機能のモデル化が必要になるものと思われる。

そこで前稿¹⁾では、モデル化を試みる上でその

基礎となる仙腸関節内における仙骨の運動を考察した。その中で仙骨の運動を、関節面の凹凸とL字形状との関係から、寛骨同様鉛直軸および前後軸上の回転運動であるとし、仙骨は腸骨側関節面を前上方または後下方へ変位すると定義した。今回は前稿を引き継ぎ、その動きを前提とした仙腸関節の荷重支持における支持形態と安定性について考察した。

2. 仙腸関節の力学的前提

仙腸関節は仙骨と寛骨の間のほぼ垂直面に位置する関節であり、筋による支持が認められない点が他の関節と異なる特徴である。この関節の支持性は上体荷重と床反力とが関節面で正対することによって保たれているものと考えられ、これが荷重支持を担う仙腸関節の力学的な大前提となる。

しかし寛骨仙骨双方の位置関係と上体荷重並びに床反力の向かう方向との関係性を考量してみると、これらは必ずしもその前提に一致しているようには見えない。上体荷重は仙骨を下方へ押し下げ、床反力は寛骨を上方へと押し上げる力となり、それらは仙腸関節に対する剪断力となって安定性を損なう方向へ向かうように見えるからである。加えて関節運動が並進すべりであるとするこれまでの理論では、尚更これらの前提は成立し難い。こうした点を踏まえると、ここには関節の安定性を保つための他の要因の介在が示唆される。

3. 仙腸関節の回転運動と圧縮力

仙腸関節の安定性を最優先に考えると、関節面に対する寛骨側仙骨側双方からの向き合う力が必要となる。これらは関節運動時にも当然認められるべき前提である。

これまでの論考で、仙腸関節の運動は凹凸の法則に沿った回転運動と考えるのが妥当であると筆者は主張してきた。前稿までに、その際の運動は寛骨仙骨共、鉛直軸並びに前後軸上の回転あるいは回転すべり運動であるという仮説を立てた。そしてその運動とは、寛骨側は内旋外転、外旋内転の複合運動であり、仙骨側は寛骨側関節面を側屈と回旋を伴いながら前上方または後下方へ変位することが予想されると述べた。

こうした運動の際、仙腸関節を構成する両骨は回転軸を共有している。したがって仙骨に対する寛骨の変位も寛骨に対する仙骨の変位も、どちらも同軸上の回転運動であり、関節面にはそれに伴う回転力が生じる。そしてその力は、関節面に対する圧縮力として作用することとなる（図1）。こうした回転力なしに、垂直面に並列して位置する寛骨と仙骨がその力を向き合わせることは困難である。すなわちこの回転力こそが、仙腸関節を安定させるための原動力となるものと思われる。

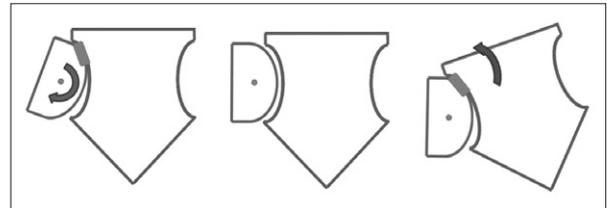


図1 左寛骨の回転運動（左）と仙骨の回転運動（右）共に耳状面上部に圧縮力

これらの力は回転方向によって耳状面の前上部または後下部を圧縮する力に振り分けられる。その際の寛骨仙骨双方の運動と荷重支持における関係を表1に、圧縮される部位を図2にそれぞれ示す。

表1 寛骨仙骨双方の運動と荷重支持における関係

	左耳状面前上部での荷重支持	右耳状面後下部での荷重支持
寛骨	内旋外転	外旋内転
仙骨	左回旋と左屈	左回旋と左屈

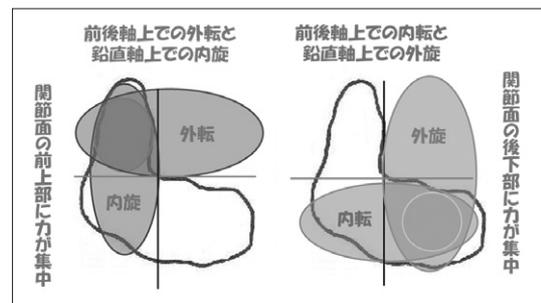


図2 鉛直軸および前後軸上の回転運動による圧縮部位

4. 靭帯の働き

ここでこれらを前提とした関節運動と靭帯との関係を考察する。仙腸関節の運動に対する各靭帯の作用は以前の論考²⁾で細かく述べているので、ここでは靭帯の大まかな作用と、以前の論考の修正点を簡潔に述べる。

仙腸関節の運動が回転運動であるものとして考えると、回転に伴う圧縮力による安定性が生じる反面、圧縮される部位の対角には離開が生じる。その離開に対して靭帯は抑制的に機能している。

ここで表1に示した寛骨仙骨の変位と各靭帯との関係を確認する。

まずは仙腸関節の左耳状面前上部での荷重支持状態を対象として考察する。この時寛骨は内旋外転、仙骨は左回旋と左屈を起こす。この寛骨仙骨の変位により、仙骨後下部には離開力が生じる。

これらの変位によって、前面下部では前仙腸靭帯の下部線維に若干の牽引力が加わる。

後面では後仙腸靭帯の横走する線維が緊張し、上記の運動により遠ざかる仙骨側面と坐骨粗面とを結ぶ仙結節靭帯にも緊張が及ぶ。この仙結節靭帯は3つの線維で構成され、それぞれに走行が異なっている。以前の論考²⁾で仙骨上部と坐骨粗面内側部を結ぶ仙結節靭帯内側部の線維は、仙骨の下方変位を促進すると述べたが、その後の考察によって得られた仙骨の変位とこの靭帯の走行とを照らし合わせると、この線維も上記の動きに対して抑制的に作用することが確認できる。また、後上腸骨棘と尾骨間を連結する仙結節靭帯の上部線維も、以前は仙骨の下方変位を抑制すると述べたが、線維の方向からみて寛骨の内旋外転あるいは仙骨の左回旋と左屈の抑制に関わっていることは明らかである。その他仙棘靭帯にも、この変位によって緊張が及ぶ。

次に仙腸関節の右後下部での荷重支持状態を対象として考察する。この状態では寛骨は外旋内転、仙骨は前記同様左回旋と左屈となる。この時耳状面前上部には離開力が生じる。

まずこの状態で緊張が予想される靭帯には、前仙腸靭帯がある。また、腸腰靭帯の一部にも緊張が加わることが予想される。その他の靭帯、特に仙結節靭帯、仙棘靭帯は、こうした変位によって付着部である仙骨外側と坐骨結節が接近するため、靭帯は弛

緩状態となる。

ここまでに示した靭帯のほとんどは耳状面の前上部での荷重支持では緊張するが、対する後下部での支持では弛緩する傾向にあることがわかる。

仙腸関節には、上で示した靭帯とは別に、骨間仙腸靭帯という特殊な靭帯がある。骨間仙腸靭帯は外側仙骨稜と腸骨粗面とを結合する強靭な靭帯である。この靭帯は線維の方向も一定ではなく、仙腸関節のあらゆる動きに対して抑制的に機能するように見える。ただし、すべての線維に対して常に等しく牽引力が加わるわけではなく、仙腸関節の回転に伴う動きの方向によって、近接する部位と離開する部位とに分かれる。寛骨の内旋外転時には骨間仙腸靭帯の後部および下部に張力が加わり、外旋内転では前部および上部に張力が加わるだろう。仙骨の変位に関しては、左回旋と左屈により、骨間仙腸靭帯の左後下部および右前上部に張力が加わることになる。それぞれの動きの対角にあたる部位の靭帯は、近接する方向に向かうだろうと予想される。

仙腸関節は関節面の圧縮力に靭帯の張力が加わることで、より強固な安定性を得る。

ここまで靭帯の働きを概観してきたが、これらはすべて仙腸関節の運動が回転運動であることが前提となる。ここでも並進運動を前提とした既存の理論では、ここに示した靭帯の支持性は得られない。特に並進運動前提で想定される仙腸関節の変位像では、仙結節靭帯は仙骨に対する寛骨の下方変位は抑制可能だが、通常予想される寛骨に対する仙骨の下方変位は抑制できない。立位における荷重負荷では前記の変位は想定し難く、これは靭帯の存在意義としても不自然である。

5. 仙腸関節の荷重支持形態

ここまでの考察から、仙腸関節の支持形態は、回転運動に基づく耳状面における圧縮作用と靭帯の張力に依存していると考えるのが妥当であろう。

こうした圧縮力と張力からなる支持構造は「テンセグリティ構造」を連想させる。事実人体構造を骨格と軟部組織からなるテンセグリティ構造と捉えた理論も多数散見される。筆者も当初その可能性に着目し、類推していた。しかしテンセグリティによる構造体は必ずしも圧縮材による接点を必要としない不連続な自己安定機構である。骨盤脊柱は静的には支持器官ではあるが、動的には筋力を伝達するための重要な構成要素でもあり、それは骨の連続性に依拠している。圧縮材である骨組織をテンセグリティ構造の一部材として捉えてしまうと、例えば推進力として作用するはずの下肢筋力は張力材である軟部組織に吸収されてしまい、脊柱への力学的な伝達性能は大きく削がれてしまうという懸念が生じる。またかかる剪断力と靭帯の強度など、これまで筆者が主張してきた問題点に関してもクリアーではない。テンセグリティ構造は非常に興味深い構造ではあるが、骨盤脊柱にもそれを適応させようとするのは早計であるように思われる。

仙腸関節がテンセグリティ構造と異なる点は、回転運動に伴う耳状面の圧縮力にある。この回転力によって垂直面に並列する腸骨と仙骨の連続性は保たれ、下肢筋力は脊柱へとロスなく伝達される。また、靭帯は過剰な回転を抑制するが、力学的な伝達能のすべてを損なうわけではない。

仙腸関節に加わる力は耳状面への圧縮力と靭帯への張力とに分解される。この時変位を抑制する靭帯の数が多いほど、そこで吸収される力の量も多くなるはずである。靭帯の走行から、耳状面の前上部での支持に関わる変位を抑制する靭帯の数は多く、後下部での支持では少ない。これは前上部での支持が主に力の吸収、後下部での支持が主に力の伝達に関わるものだからであると予想される。このあたりについての詳細な考察は、また機会を改めることとする。

6. 仙腸関節の安定性

これらの前提となる耳状面内での荷重支持形態は、仙腸関節の形状が腸骨側凸、仙骨側凹の関係にあるから成り立つものであるということは、前回の論考で述べた¹⁾。繰り返しになるが、両骨のこの関係性によって回転運動が生じ、腸骨仙骨が互いに力を向き合わせることで、仙腸関節は安定性を得る。

ここであらためて仙腸関節の中間位を想定してみる。寛骨にも仙骨にも変位がなく、仙骨底が前額面で水平位にある時、仙腸関節はニュートラルな状態にある。仙腸関節の運動が回転運動であり、その際の動きが寛骨の内旋外転および外旋内転と仙骨の側屈回旋であると仮定すると、仙腸関節に全く変位の無い中間位にあるこの時、回転力はどこにも存在しない。つまりこの場合、仙腸関節には圧縮力も靭帯の張力も存在せず荷重負荷のみの状態となる。すなわち垂直面にある仙腸関節は、完全な中間位にある時、もっとも不安定な状態にあるといえる（図3）。

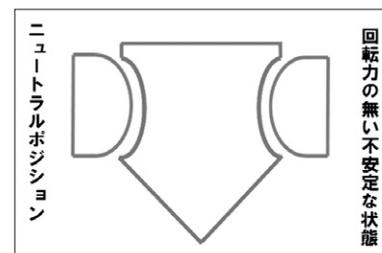


図3 仙腸関節の中間位
安定性の前提となる回転力が生じない

回転運動によって生じる関節面への正対する力も靭帯群の緊張も生じないこの時、荷重を受ける仙骨は不安定な状態となり前後左右へ動揺する。すでに述べたように、この際関節面の凹凸の関係から、仙骨は側屈回旋変位を起こし、寛骨もそれに対応して回転する¹⁾。こうして仙腸関節には回転力が加わり、安定する。つまり中間位付近では、回転力という安

定性を得るために仙腸関節は必然的に動き続ける必要がある。

この回転が増すほど、加わる関節面への圧縮力と靭帯の張力は増す。それに比例して安定性は増加し、安定性が増すほどに可動は制限される（図4）。

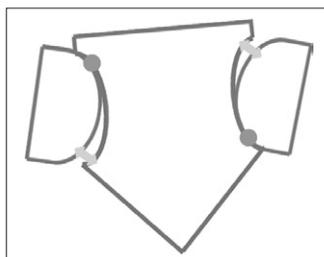


図4 仙腸関節の回転運動と耳状面の圧縮と靭帯の緊張により可動性は制限される

それとは反対に、中間位に近づくほど圧縮力と靭帯の緊張度は低下し、仙骨の不安定性は増す（図3）。

重心動揺を測定すると、重心が中心点にとどまり続けることも、荷重配分が均等を保ち続けることもない。つまり重心は絶えず動き続け、静止することがない。これらは脊柱からの上体荷重が仙骨を介して左右下肢へと振り分けられる際の流動性に関連し、荷重配分に対する仙骨の動きにはある程度の自由度があることを示しているものと思われる。つまり上記の不安定性は、仙骨の動きに対する柔軟性を許容するための機能であると言い換えることもできる。もしこの不安定性がなく、両足での立脚時に高い安定性を示す場合、仙腸関節は固定され、骨盤は剛体に近い構造となって片足荷重への移行には大きな重心移動が必要となるだろう。仙腸関節が中間位において不安定であるがゆえに左右下肢への荷重の移行は大きな重心移動を要せず可能となり、両足での立脚状態から片足立脚へとスムーズに移行できる。そして片足立脚に近づくほど仙腸関節の変位は増大し、圧縮力と靭帯の張力によって関節は安定する。つま

り仙腸関節自体は、片足立ちで構造的な安定状態となり得る。

関節の安定性を優先すると、変位が大きいほどに安定性は高まる。しかしそれには荷重の偏倚と靭帯への負荷という代償を伴う。

一方関節が中間位に近づくほど荷重の偏倚は解消されるが、関節の安定性は低下する。しかし靭帯への負荷は低減し、荷重移動に対する自由度は増す。中間位に近い状態を保つことが荷重の偏りと関節負荷を抑制し、且つ左右下肢への力の伝搬と下肢からの筋力伝達への対応を円滑にする。

仙腸関節は、垂直面に位置しながら可動性と安定性という背反する機能を請け負う特殊な関節である。これらは可動性を優先すれば安定性が犠牲になり、安定性を優先すれば可動性が犠牲になるというトレードオフの関係にあり、内側に矛盾を抱える二律背反的な構造であるかのように見える。そのような条件下で脊柱から左右下肢への荷重配分と左右下肢筋力の統合と伝達、さらには前後左右の平衡をも保たなければならない。

仙腸関節は平衡を保っているとき不安定で動きやすい。つまりこの時、安定性を犠牲にして可動性が優先されている。この時仙腸関節は絶え間なく動くことで動的に平衡を保っており、それが同時に柔軟な荷重配分と意思に基づく下肢筋力の伝達を可能とさせる。そしてここは動きの大きさ、荷重配分、筋力伝達の偏りに応じて安定性を増していく。この時仙腸関節は可動性を犠牲にして安定性を優先させることで、偏った荷重支持と筋力伝達に対応することが可能となる。筆者には、状況に応じて変化するこれら背反する機能が仙腸関節に備わったことが、人類独自の歩行様式である二足歩行を可能にしたのではないかと思われるのである。

7. まとめ

今回は前回の考察を引き継ぐ形で、仙腸関節の安

定性に関する考察を行った。

仙腸関節は、それが置かれる位置や形状など、視覚的な情報から受ける印象通り、不安定だと言えるようである。特に寛骨仙骨に変位のない中間位では、関節を安定させ得る構造的な要因はまるで見当たらない。これは極めて不安定な状態であるように思える。しかしこの不安定な状態とは、何の制限も受けず、固定もされていない、いわば「自由な状態」だと言い換えることも出来る。中間位にあるこの関節は、自由であるがゆえに、荷重時には上体荷重と下肢筋力の伝達状況の変化に応じて俊敏に対応し、非荷重時には内圧変動等周囲の力学的な変化に合わせておおらかに対応することが可能となる。

ここに何らかの問題が生じ、関節の非可動化が起こるとこうした対応は困難なものとなるだろう。おそらくこうした非可動化には、変位を伴う。なぜなら仙骨が中間位にとどまり続けることは構造上困難であり、自由にゆらぎ続けていることが予想されるからである。

仙腸関節はその可動域の限界に近づくほど動きは制限される。荷重と重心の偏倚量と関節の変位量は比例し、それに比例しながら増加する関節面の圧縮力と靭帯の張力によって関節は安定し、固定される。そこから中間位へと近づくにつれて仙腸関節は固定化の条件から解放され、自由になる。しかし完全な中間位にとどまり続けることはなく、中間位周辺にはある程度自由な領域が形成され、ゆらぎながら均衡を保つ。

このように、仙腸関節には、静的な不安定性と動的な安定性という一見矛盾する機能が、垂直面という不利な状況にありながら共存している。そこでは不安定な均衡、あるいは不均衡からなる安定という互いに背反する事項によって成立する機能同士が、

仙腸関節という閉じた場の中で互いの矛盾を打ち消しあうようにして調和が保たれているように感じられる。

さて、先般行われた学術大会での発表後、本学会評議員の馬場信年氏より、「ゆらぎ」という大きなヒントをいただいた。これは本稿執筆に際しても、また今後の研究に向けても、視野を広げる貴重な示唆となった。馬場氏には、この場をお借りして深い感謝の意を表したい。

確かに、仙腸関節はゆらいでいる。そのゆらぎは、本来人に備わっているであろう内在的な機能を考慮しても、重要なキーワードとなりうる。仙腸関節に対する無暗な可動域の拡大は、それを損なう可能性がある。意図的に行われる強固な関節固定も同様である。仙腸関節にとって大事なものは、適切な範囲内でゆらぎを保つことであるように思われる。これは今後継続的に研究していきたいテーマの一つとなりそうである。

以前の考察も含め、筆者の考察は未だ推論の域を出ない。これまで積み重ねてきた仮説の証明という難題が目の前に立ちただかっではいるが、今回の考察を通じて、臨床とこれまでの仮説にまた新たなつながりを見出せたようにも感じている。これらの仮説の証明に向けたモデル化の実現が、今後の大きな課題である。

参考文献

- 1) 吉岡一貴. 仙腸関節座位矯正法の紹介と仙骨変位に関する考察. 日本カイロプラクティック徒手医学会誌. vol.12, 2011, p.65.
- 2) 吉岡一貴. 仙腸関節の研究. 日本カイロプラクティック徒手医学会誌. vol.5, 2004, p.3.