

## 月の錯視における眼球運動性手がかりの効果の検討

間瀬智子<sup>1</sup>・高橋啓介

### Effects of Oculomotor Cues upon The Moon Illusion.

Tomoko MASE<sup>1</sup> and TAKAHASHI Keisuke

**In this study, effects of oculomotor cues both of accommodation and convergence upon moon illusion were examined. Standard stimulus with a diameter of 2 degrees in visual angle was presented at an angle of 45 degrees of elevation on the participants' frontal plane. Comparative stimulus whose diameter was changed in 0.15 degree steps from 1.1 degrees to 3.05 degrees in visual angle was presented in front of the participants' face. The independent values were existence of accommodation and existence of supraduction. The experiment was conducted in a darkroom with observation distance set to 3m. The apparent size of standard stimulus was measured by using the method of limits.**

**The results were as follows: In all experimental conditions, the apparent size of the standard stimulus was underestimated. In the experimental condition of supraduction without accommodation, the consequent degree of illusion decreased. The degrees of divergence yielded by supraduction are more than those yielded by non-supraduction. This suggests that the divergence has antagonistic effects on the moon illusion against the effects of accommodation and the interaction between accommodation and convergence. However, in experimental conditions with nonsupraduction without accommodation, the moon illusion was observed. Therefore, we should assume the other factors in the moon illusion as well as oculomotor cues.**

**The moon illusion occurred in complete darkness, which suggests that the Grand Theory of Moon Illusion (Kaufman & Rock, 1962a,b; Rock & Kaufman, 1962) has no validity in explaining the mechanisms of moon illusion.**

**Keywords :** 月の錯視 眼球運動性手がかり 輻輳 調節 眼球上転

moon illusion, oculomotor cues, convergence, accommodation, supraduction

#### 1. 問題

地平線や水平線付近の月は大きく見えるのに対し、天頂に昇った月が小さく見える体験は、多くの人々に素朴な疑問と不思議を抱かせ続けてきた。この現象は「月の錯視 (moon illusion)」と呼ばれる。実際の月は、天空のどこにあっても客観的な大きさに差異はなく、また、知覚される月までの距離は、地平の月はより近くに、天頂の月はより遠くに知覚される傾向があるが、月の位置に関わらず、月までの物理的距離はヒトの光学的無限遠である。こうした知識があるにも拘らず、月の錯視は生じる。これ

---

<sup>1</sup> 旭川医科大学眼科学講座 (〒078-8510 北海道旭川市緑が丘東2条1丁目1番1号)

らのことから、月の錯視を検討することは、ヒトの知覚的空間の特性を解明することに資すると考えられる。

月の錯視の生起機序については古くから数多くの説が提唱されてきたが、中でも特に著名な説が Kaufman & Rock (1962a, b), Rock & Kaufman (1962) の地平説、あるいは見かけの距離説である。Kaufman & Rock (1962a, b), Rock & Kaufman (1962) は、屋外において地平の風景と月を重ねて投影できる装置を用いて実験を行い、月と風景の重なりが月の大きさを 30~100% 過大視させ、また、暗黒視野下や、周りの景色を隠した状態では月の錯視が生起しないとの結果を得た。さらに、彼らは眼球の向きや片眼視/両眼視に関わらず風景手がかりがある場合に限り、月の錯視が生起することを示した。このことから彼らは、月の錯視の生起に重要なのは地平に広がる景色であり、地平に多数存在する介在物によって奥行き効果が生じるため、地平方向の月は天頂方向の月よりも遠くに定位され、実際の大きさよりも相対的に大きく知覚されるという、「size-distance values invariance」によって現象の生起機序を説明した。

しかし、この地平説にはいくつかの問題点がある。まず、実験協力者に地平の月と天頂の月までの見かけの距離を尋ねると、天頂の月の方が遠くに見えると答える場合が多い。この場合、Kaufman & Rock (1962a, b), Rock & Kaufman (1962) の知見とは矛盾した現象が生じていることになる。これに対して Kaufman & Rock (1962a, b), Rock & Kaufman (1962) は、月までの見かけの距離は、実際に知覚された距離ではなく、意識にのぼらない、「registered distance」という概念によって説明を試みている。すなわち、まず視対象までの register された距離が無意識に知覚され、それに基づいて見かけの大きさを判断し、その見かけの大きさから、視対象までの距離が意識されるという、「registered distance ⇒ 見かけの大きさ ⇒ 見かけの距離」という前注意的過程が存在するとの仮説である。いわゆる「further-larger-nearer」仮説である。しかし、size-distance values invariance は、実際に知覚された距離と大きさに対しての仮説であるため、彼らの registered distance に対して適用することには問題があるし、この仮説は、registered distance と最終的に知覚される視対象までの距離との関係が不明確である。

また、同様の研究を行った Schur (1925) や Leibowitz & Hartman (1959) は暗黒視野下でも月の錯視が生じるとの、Kaufman & Rock (1962a, b), Rock & Kaufman (1962) に対立する所見を報告している。これに対し、Kaufman & Rock (1962a) は、プロジェクターから漏れた散乱光によって周囲の景色が可視できたことによる artifact であると主張している。しかし、Suzuki (1991) が、この問題を検討するために行ったプラネタリウムでの実験によると、暗黒視野下でも月の錯視は生じ、地平線や星を投影した条件においては暗黒視野中よりやや弱い錯視が認められ、視覚的背景手がかりが見える明室条件では錯視は認められないという所見を示した。さらに Enlight (1989b) は、月までの見かけの距離を変化させることが可能な装置を用いて野外実験を行ったところ、見かけの距離を 50 倍に変化させても錯視率は 1.08 倍と小さなものであり、月の錯視の成立に size-distance values invariance は関与しないと結論している。これらの先行研究の多くは、地平の景色や物体が見えている場合に必ずしも錯視が生じるわけではないことを示唆しており、Kaufman & Rock (1962a, b), Rock & Kaufman (1962) の地平説で月の錯視の生起機序を説明することの妥当性には疑問がある。したがって、月の錯視の生起には風景などの視覚的手がかり以外の要因が関与している可能性がある。

近年、月の錯視は1つの要因によって生起する単純な錯視ではなく、複数の手がかりや要因によって惹起される現象と捉えられている。それらの要因の中でも、眼球の水晶体の調節、輻輳、眼位といった眼球運動性の手がかりの効果が注目されている。

視対象を注視する際に、両眼は共働してその対象に輻輳し、同時に水晶体の曲率を変化させる(調節)ことによって、焦点を合わせる。こうした眼の状態は、視対象までの距離や視対象の大きさの手がかりとして機能すると考えられる。月の錯視においても、これらの眼球運動性手がかりが、その成立に関与している可能性が示唆されている (Suzuki, 1991, 2007)。特に、調節安静位が月の錯視と重要な関連性を

もつ可能性が示唆されている。

調節安静位とは、暗黒視野中や調節すべき視対象が無い場合に、水晶体の調節がリラックスした状態になることである。このときの調節は、個人差もあるが、無限遠ではなく眼前約 60 cm の距離に対してなされていることが明らかにされており (Owens & Leibowitz, 1976), また, Iavecchia & Roscoe (1983) によると、調節安静位に類似しているものに、霧の中などのように視野全体が一様で、近方に視対象が存在しない場合に生じる「空虚空間近視」、望遠鏡などを覗いた時に起こる「光学器械近視」があり、これらの状態では、調節の近方化に連動して調節性輻輳と縮瞳とが生じ近視化する。この時に *micropsia* が生じ、視対象が縮小して見える。Enlight (1998a, b) は、月の錯視は *micropsia* の一種であると主張している。天頂の月を見る時には空虚空間近視の状態に相当し、より近方に水晶体が調節され、地平の月を見る時には、景色などの様々な視対象の存在により、天頂方向よりも遠方に調節されると考えられる。眼科学的には正常網膜で且つ光学的矯正レンズとの関係を考慮せずに、*micropsia* で像が縮小する光学的機序は明らかではないが、現象的にはよく知られている。Suzuki (2007) は、上方向の月を見る場合に、水平方向の月を見るのに較べて近視化することが、上方向の月までの心理物理学的距離が水平方向の月までよりも近くなるために、心理物理学的に検出された奥行手がかりに基づいた *size-distance values invariance* によって上方向の月が小さく知覚されると考えている。しかし、暗黒視野においては、上方向でも水平方向でも同様に調節は空虚空間安静位に伴う近視化の状態であると考えられるため、眼位によって近視度が変わるなどの、調節安静位以外の要因を仮定しなければ、暗黒視野中での月の錯視の生起を説明することはできない。

一方、輻輳も調節と同様に、暗黒視野中などで安静位をとることが知られており、眼前約 1.2m の距離に対して輻輳していると言われている。Heuer & Owens (1989) は、上方向に較べて水平方向の方が輻輳安静位はより近い距離に対してなされていることを報告している。輻輳だけを考えると、輻輳安静位は眼位によって調節安静位とは拮抗した作用をしていることになる。仮に、月の錯視の生起を輻輳手がかりのみで解釈すると、心理物理学的により遠くに定位される水平方向の月の方が、心理物理学的により近くに定位される上方向の月より大きく知覚されるということは、*size-distance paradox* によって月の錯視の生起を説明できるかも知れない。あるいは、視対象までの心理物理学的な距離が輻輳安静位からの差分によって検出されると考えると、*size-distance values invariance* によって月の錯視の生起が説明できることになる。Owens & Leibowitz (1980) や Kotulok & Schor (1986) が述べているように、調節と輻輳とは相互に独立した機構、機序を有しているながらも、鶴飼(2000)が指摘するように、調節性輻輳や輻輳性調節が生じることからも示唆される通り、それらは複雑に共働している。したがって、眼球運動性の手がかりから比較的単純な機序で月の錯視を説明することには慎重でなければならないだろう。しかし、多くの先行研究が示しているように、Kaufman & Rock (1962a, b), Rock & Kaufman (1962) の地平説では、月の錯視の生起を十分に説明することは困難であり、暗黒視野中の月の錯視の生起を説明するためには、眼球運動性の手がかりを考慮しない訳にはいかない。Enlight (1998a, b), Iavecchia & Roscoe (1983), Roscoe (1985, 1989) が指摘するように、調節、輻輳が月の錯視の生起に関与している可能性は高いものの、調節と輻輳とを独立して操作し、検討を加えた知見は十分に蓄積されているとは言い難い。そこで本研究では、眼球上転による輻輳の変化と調節といった眼球運動性の手がかりがどのように月の錯視に影響を与えているかを中心に検討する。輻輳と調節については、両者を独立して操作し、検討した先行研究はなく、いずれの要因がどの程度月の錯視に影響を及ぼしているのかは厳密には明確にされていない。もちろん、輻輳と調節とを完全に分離することは難しいが、副交感神経遮断薬の点眼によって、調節の機能を相当程度抑えることは可能である。これにより、調節麻痺の条件と調節生起の条件とを設けることで、輻輳と調節の両方が働く場合と輻輳のみが働く場合とを比較することができる。

なお、周囲の視覚的背景手がかり要因を排除するために、暗黒視野環境下で実験を行うこととする。

## 2. 方法

**実験条件** 月の錯視における眼球運動性の手がかりの効果を検討するために、調節と輻輳とを組織的に操作した。まず調節については、通常の眼球光学状態のまま刺激を観察させる「調節生起条件」と、調節麻痺薬（塩酸シクロペントレート 1%）を点眼することによって調節を麻痺させた状態で刺激を観察させる「調節麻痺条件」との2条件を設定した。次に輻輳を操作するために、眼を動かさずに、頭部と上半身とを後傾することによって刺激を観察させる「仰視条件」と、頭部や上半身を後傾せず、眼球のみを上転させて刺激を観察させる「眼球上転条件」との2条件を設定した。

調節条件2水準と観察条件2水準とを総当たりで組み合わせた4条件を実験条件とした。

上記実験条件と眼球運動性の手がかりとの関係を表1に示した。調節生起×眼球上転条件が、刺激を観察する場合に実験的な操作を加えない条件となるので、統制条件である。

**表1 本研究における調節条件および観察条件と  
眼球運動性手がかりとの対応**

	眼球上転	仰視
調節生起	調節・輻輳	調節
調節麻痺	輻輳	なし

**刺激** 暗闇で光る、黄緑色蓄光シート（高輝度蓄光シート A-250；小松プロセス）を円形に加工したものを刺激とした。標準刺激は、直径視角 2°の円盤、比較刺激は直径視角 1.10°から 3.05°までの円盤で、直径を視角 0.15°刻みで変化させたもの計 11 種類を設定した。実験参加者の目線の高さの前額平行面上に比較刺激を、その上方 45°上方に標準刺激の円盤を呈示した。蓄光シートの性質上、経過時間に伴う輝度低下を避けるために、1 試行ごとに露光し、輝度を保つようにした。標準刺激、比較刺激ともに実験中、約 0.1cd/m<sup>2</sup>の輝度を維持した。

**実験参加者** 視覚健常で視力 1.0 以上（矯正視力含む）な大学生 3 名（男性 1 名 22 歳，女性 2 名平均年齢 21.5 歳，SD=0.57）。

**手続き** 調節麻痺条件では、実験前に調節麻痺薬（塩酸シクロペントレート 1mg：サイプレジン 1%点眼薬；参天製薬株式会社）の点眼を両眼に行った。実験の 1 時間前に実験参加者の両眼に 5 分おきに 2 回点眼し、最後に点眼した時間の約 1 時間後から実験を開始した。その際に、実験参加者に近方視 30 cm で 10（ポイントの文字サイズ（視角約 0.057°）による文章を見せ、全く読めなければ調節麻痺が起きていると判断し、実験を開始するようにした。実験参加者を椅子に座らせ、実験参加者の目線の高さから 45°上方の標準刺激と、水平方向の比較刺激との大きさを比較させた。標準刺激を約 2 秒見た後に比較刺激を見せ、標準刺激の大きさに対して『大きい，同じ，小さい』という 3 件法で回答させることで標準刺激の見えの大きさ（直径）を評価させた。観察距離はいずれの条件においても 3m とした。測定方法は、極限法の完全上下法であり、上昇、下降の各系列をそれぞれ 10 試行ずつ測

定した。また、測定に際しては、リラックスした状態で見たままの大きさを回答するよう、また、周りの環境などをなるべく意識しないように教示した。

調節条件、観察条件の呈示順序は実験参加者間でカウンターバランスを取った。

### 3. 結果

Schur (1925) などの先行研究の所見と比較するために、比較刺激の PSE に対する標準刺激の物理的大きさ（直径視角  $2^\circ$ ）の比を錯視率として求め、錯視率に基づく検討を行った。

図 1 に各調節条件における各観察条件での平均錯視率を示した。また、錯視率に対する調節条件と観察条件との効果（いずれも within subjects）を 2 元配置分散分析によって検定した。

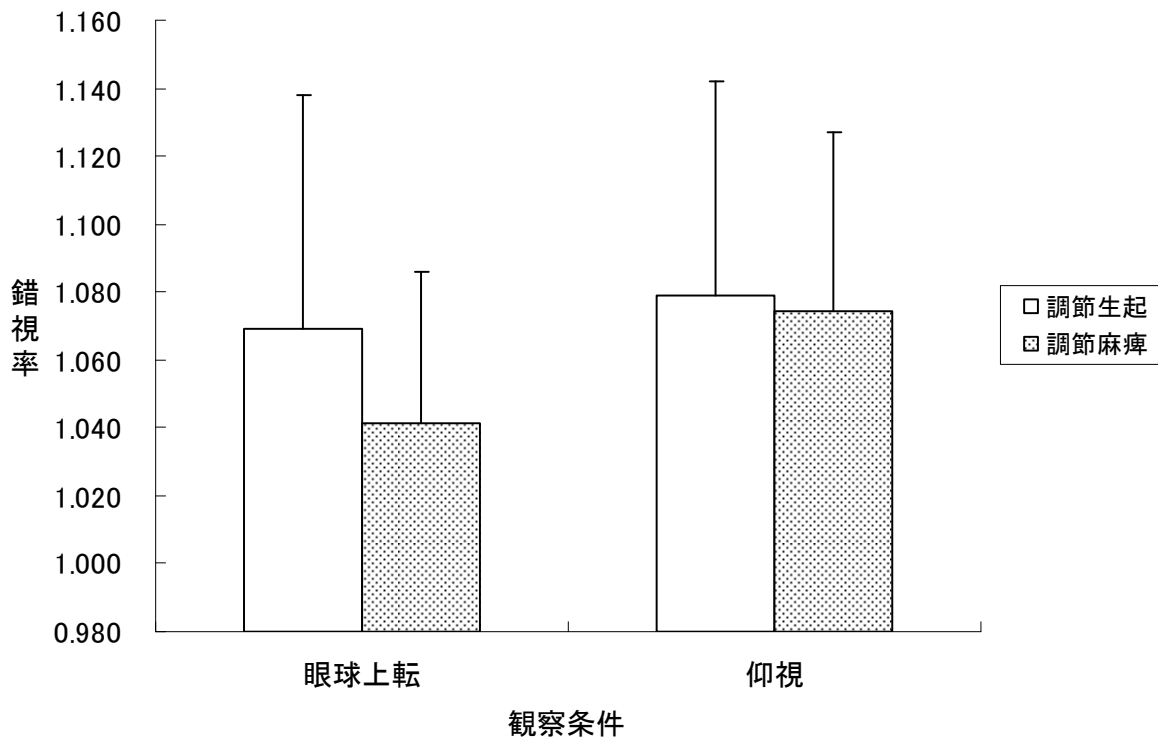


図 1 各調節条件における各観察条件での平均錯視率

図 1 によると、いずれの条件においても、標準刺激の見かけの大きさは過小視される傾向が認められる。この過小視傾向が月の錯視の生起を示すものであるか否かを検討するため、錯視が全く生起していない場合の理論的錯視率 1.0 に対して、各実験条件の錯視率が有意に大きいか否かを検討した。実験条件に理論的錯視率を加えた 5 条件の平均錯視率に対して一元配置分散分析を行ったところ、条件間に有意差が認められた [ $F(4,145)=13.258, p<.001$ ]。Bonferroni 法の多重比較によると、理論的錯視率と調節生起×眼球上転条件、調節生起×仰視条件、調節麻痺×仰視条件それぞれとの間に、0.1%水準で有意差が認められ、理論的錯視率と調節麻痺×眼球上転条件間に 5%水準で有意差が認められた。このことから、いずれの実験条件においても、月の錯視が生起しており、有意な過小視が生じていたと考えることができ、調節麻痺×眼球上転条件を除き、その傾向は顕著であると考えられる。

次に、眼球運動性手がかりが錯視におよぼした効果について検討する。実験計画に基づく分散分析の結果、調節条件の主効果は認められず [ $F(1,29)=.678, n.s.$ ]、観察条件の主効果 [ $F(1,29)=23.308, p<.001$ ],

調節条件と観察条件との交互作用〔 $F(1,29)=11.778, p<.01$ 〕が有意であった。錯視率に基づけば、調節の有無は単独では効果を持たず、仰視条件（平均錯視率：1.077）に比べ眼球上転条件（平均錯視率：1.055）で有意に錯視が弱まっていることが示された。2要因の交互作用が有意だったので、Bonferroni法によって単純主効果の検定を行ったところ、調節麻痺条件において観察条件間に有意差が認められ〔 $F(1,29)=27.847, p<.001$ 〕、仰視条件（錯視率：1.074）に比べ眼球上転条件（錯視率：1.041）で有意に錯視率が小さいことが示された。また、眼球上転条件において調節条件間に有意差が認められ〔 $F(1,29)=7.815, p<.01$ 〕、調節生起条件（錯視率：1.069）に比べ調節麻痺条件（錯視率 1.041）で有意に錯視率が小さいことが示された。

本実験において、調節麻痺条件下で、仰視に比べ眼球上転で錯視が有意に弱められるとの所見を得たことは、眼球運動系の手がかりとして、水平方向に比べて眼球上転によって生じる輻輳の開散が、調節とは独立して生じる場合に、月の錯視の生起を相対的に抑制することを示しており、逆に言えば、月の錯視の生起において水晶体調節の役割が重要であることを示唆していると考えられる。

#### 4. 討論

本研究では、月の錯視における眼球運動性手がかりの効果を検討するために、調節が生起する場合と調節麻痺の場合、および上方向の標準刺激を見る際の眼球上転の有無によって輻輳の変化が生じる場合と生じない場合とで、上方45°に呈示した標準刺激の見かけの大きさを、他の視覚的背景手がかりのない暗黒視野環境下で検討した。本研究における調節条件および観察条件と眼球運動性手がかりとの対応は表1に示した通りである。表1に基づいて、眼球運動性手がかりについてより詳細に整理しておこう。

調節生起×眼球上転条件では、調節が空虚空間安静位を取り、それに伴う調節性輻輳と眼球上転によって生じる開散とが拮抗していると考えられる。調節生起×仰視条件では、調節が空虚空間安静位を取り、それに伴う調節性輻輳が生じていると考えられる。調節麻痺×眼球上転条件では、調節は遠視化して変動せず、そのため眼球上転による開散のみが上方向視と水平方向視とを分ける手がかりとして有効である。調節麻痺×仰視条件では、上方向視と水平方向視とで眼球運動性手がかりに差異が生じない。

本研究で得た所見は、①全ての実験条件において標準刺激の見かけの大きさは過小視され、②過小視の傾向は眼球上転条件に比べて仰視条件で強く、③調節麻痺条件と眼球上転条件とを組み合わせ場合に、標準刺激の見かけの大きさの過小視が相対的に最小となる、と要約することができる。

Schur(1925)の暗黒視野下での実験によると、3mの観察距離で錯視率 1.13 という結果を得ており、近距離においても錯視が生じることが示されている。本研究での錯視率は最大で 1.077 で、Schur (1925)の得た結果よりも小さい値であったが、月の錯視が生起していた。また、暗黒視野において月の錯視が生じた本研究の結果は、Kaufman & Rock (1962a, b), Rock & Kaufman (1962)の所見とは一致せず、Suzuki (1991), Schur (1925), Leibowitz & Hartman (1959)らの得た、暗黒視野下でも月の錯視が生起するという所見を支持するものであった。周囲の視覚的な環境要因などが月の錯視に影響をおよぼさなかった本研究の上記①の所見は、眼球運動性の手がかりの関与を強く示唆するものであると考えられる。

次に、上記②と③の所見について検討してみよう。通常、輻輳安静位では眼前約 1.2m の距離に輻輳し、上方向に比べ水平方向でより近い距離に対して輻輳していることが報告されている (Houer & Owens, 1989)。つまり、本研究において、眼球上転条件に比べて仰視条件で輻輳が強くなっていると考えられる。調節麻痺下において、眼球上転条件に比べて仰視条件で錯視率が大きいことから、眼球上転によって輻輳が弱まる（開散する）ことで、錯視の生起が抑制される可能性が仮定される。このことは、調節生起条件下でも眼球上転条件に比べて仰視条件で錯視率が相対的に高いことと整合する。ただ、調節生起条件下では眼球上転、仰視に拘らず、眼球運動系としては、調節の空虚空間安静位に伴う縮瞳と調節性輻輳が生じていると考えられる。さらに、調節生起×眼球上転条件では調節の空虚空間安静位による調節性輻輳

に加えて、眼球上転による輻輳の開散が加わっていることになる。

眼球上転時に調節生起条件に比べ調節麻痺条件で錯視率が相対的に小さく、調節生起条件において仰視条件に比べ眼球上転条件で錯視率がごくわずかではあるが低くなっていることから、調節の空虚空間安静位に伴う調節性輻輳と眼球上転による輻輳の開散とは、月の錯視の生起において拮抗的な作用を有しているのかも知れない。

次に調節について検討する。調節安静位については、眼前約 60 cm に焦点が合っている状態であり、遠方視させようとする交感神経と近方視させようとする副交感神経が均衡している状態である。したがって、調節麻痺剤による副交感神経の遮断によって交感神経が優位に作用し、調節が遠方に shift すると考えられる。暗黒視野や空虚空間では、調節が安静位を取り近視化する。この時、調節性輻輳と縮瞳とが連動し *micropsia* が生じ、視対象の大きさが、その視角よりも小さく見えることが知られている。Enlight (1989b) は、月の錯視を *micropsia* の一種として捉えられるとの説を唱えている。また Roscoe (1985, 1989) は、調節安静位を基準として、視対象までの距離知覚に基づいて月の錯視を説明しており、Suzuki (2007) もその考えを支持している。Roscoe (1985, 1989) は、上方向の月を見る場合は、調節が空虚空間安静位を取ることで近方化し、水平方向の月を見る場合は、周囲の景色や様々な視対象の存在によって調節が安静位より遠方化していることから、これらの調節の情報から上方向の月までの距離より水平方向の月までの距離の方が遠いと判断され、この心理物理学的な距離に基づき、*size-distance values invariance* によって近方に定位される月が遠方に定位される月より小さく知覚されるのだと、月の錯視の生起機序を説明している。しかし、本研究で得られた所見は Enlightenment (1989b)、Roscoe (1985, 1989) のいずれの説も支持しない。本研究における調節麻痺×仰視条件では、調節の変動がほとんど生じないため、その安静位による調節性輻輳を想定できない。そのため、*micropsia* の生起を仮定できない。さらに、仰視条件では上方向、水平方向で眼球運動性手がかりに差異は想定できないにも拘らず、上方向の月の過小視が生じた。本研究におけるこれらの所見は、調整や輻輳によっては合理的に解釈できない。同様に、暗黒視野環境下で実験を実施した本研究の実験事態では、Roscoe (1985, 1989) が想定したような調節安静位の位置変化を上方向視、水平方向視で想定できず、調節安静位の差異による *size-distance values invariance* によっては、仰視条件で錯視が生起する機序を説明できない。

調節麻痺×仰視条件、すなわち、眼球運動性手がかりの有効性が想定できないと考えられる条件において、他の実験条件と同程度の月の錯視が生起していたことから、頭部や身体が後傾することによる自己受容器感覚が月の錯視の生起に関与していることが強く示唆される。本研究では、眼球運動性手がかりのみを焦点化した実験計画であったために、標準刺激の呈示位置につて統制条件が設定されていなかった。しかしながら、錯視が生起していない場合の理論的錯視率 1.0 との比較において、全ての実験条件で有意に高い錯視率が確認された。このことは、頭部や身体の後傾による自己受容器感覚が月の錯視に関与している可能性を示唆するものと考えられる。例えば Wapner & Werner (1957) の *sensory- tonic field theory* の古典的研究や、近年の根岸ら (2009) の身体側方傾斜が知覚的方位に影響をおよぼすとの知見を考慮すると、身体・頭部の後方傾斜が視対象の定位に何らかの効果をおよぼしている可能性を否定することはできない。頭部の側方傾斜については、前庭動眼反射が生じることが知られているが、頭部の後方傾斜が輻輳安静位や調節安静位に効果を及ぼしているかも知れない。さらに、眼球上転条件においても、輻輳の他に、動眼筋の緊張の問題がある。本研究における眼球上転条件で標準刺激の過小視が生じるのは、眼球を上転させ、視対象を注視する際の筋緊張の情報が、大きさ知覚の手がかりとなっている可能性をも示唆し得る。眼球上転については、Holway & Boring (1940a, b) によって、月を観察する際に、眼球を上転させて、睨み上げる様にして観察することによる月の見かけの大きさの縮小効果が確認されている。このことは、Suzuki (1991) によっても確認されている。このメカニズムの詳細は不明確であるが、眼球上転の際に働く上直筋と下斜筋の作用から説明出来るかもしれない。苧坂ら (1993) に

よると、もともと、眼球の上転作用については下斜筋より上直筋の作用の方が強いと言われている。そのため、眼球が45°のような大きい角度に上転している際には、主に上直筋による上転作用が働いていると考えられるため、上直筋の持つ内転作用が、上方を注視する際に眼位の情報となって大きさの知覚に何らかの影響を与えていたかも知れない。これらの点についても今後検討を加える必要があるだろう。

さらに、大きさの知覚や、距離の知覚は単一の情報処理過程ではないと言われており、現在まで様々な議論がなされている (Oyama, 1974a, b; Oyama, 1977; Meer, 1979; Broota & Epstein, 1973; Epstein & Broota, 1975; Norman, 1980)。例えば, Baird *et al.* (1990), 金子・内川 (1992) は, 地平の月が大きく知覚されるためには調節の影響の他に, 周囲の視対象との対比の影響についても考慮する必要性について指摘している。本研究において, 調節も輻輳も錯視生起の要因として作用していないと考えられる調節麻痺×仰視条件においても月の錯視が生起していることは, この錯視の機序を, 眼球運動性の手がかりによる micropsia や距離知覚と大きさ知覚との相互作用によってのみ説明できるものではないことを端的に示している。また, 本研究の所見から, 調節を伴わない輻輳が月の錯視を見かけ上弱める効果を有することが見いだされた。このことは, 眼球運動性手がかりが, 月の錯視の錯視率に何らかの効果をもつことを示唆している。特に, 調節性輻輳成分と輻輳単独成分との相互作用については, 生理学的にも十分解明されていないが (鵜飼, 2000), それが月の錯視にも関与している可能性を, 本研究の所見は示唆していると考えられる。この点についても, 知見の蓄積に努める必要があろう。

## 文献

- Baird, J. C., Wangner, M., & Fuld, K. (1990). A simple but powerful theory of the moon illusion. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 16, 675-677.
- Broota, K. D. & Epstein, W. (1973). The time it takes to make vertical size and distance judgments. *Perception & Psychophysics*, 14, 358-364.
- Enright, J. T. (1989a). The eye, the brain, and the size of the moon: Toward a unified oculomotor hypothesis. In M. Hershenson (Ed.), *The moon illusion*. Lawrence Erlbaum. 59-121.
- Enright, J. T. (1989b). Manipulating stereopsis and vergence in an outdoor setting: Moon, sky and horizon. *Vision Research*, 29, 1815-1824.
- Epstein, W. & Broota, K. D. (1975). Attitude of judgment and reaction time in estimation of size at a distance. *Perception & Psychophysics*, 18, 201-204.
- Heuer, H. & Owens, D. A. (1989). Vertical gaze direction and the resting posture of the eyes. *Perception*, 18, 363-377.
- Holway, A. H. & Boring, E. G. (1940a). The moon illusion and the angle of regard. *American Journal of Psychology*, 53, 109-116.
- Holway, A. H. & Boring, E. G. (1940b). The apparent size of the moon as a function of the angle of regard: Further experiments. *American Journal of Psychology*, 53, 537-553.
- Iavecchia, J. H., Iavecchia, H. P. & Roscoe, S. N. (1983). The moon illusion revisited. *Aviations, Space, & Environmental Medicine*, 54, 39-46.
- 金子寛彦・内川恵二 (1992) 「両眼非対応の変化に伴う2種類の大きさ知覚変化」『光学』, 21(5), 294-302.
- Kaufman, L. & Rock, I. (1962a). The moon illusion. *Scientific American*, 207, 120-132.
- Kaufman, L. & Rock, I. (1962b). The moon illusion I. *Science*, 136, 935-961.
- Kotulak, J. C. & Schor, C. M. (1986). The dissociability of accommodation from vergence in the dark. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 27, 544-555.
- Lebowitz, H. W. & Hartman, T. (1959). Magnitude of the moon illusion as a function of the age of the observers.



- Science*, 130, 569-570.
- Merr, H. C. van der (1979). Interrelation of the effects of binocular disparity and perspectives cues on judgments of depth and height. *Perception & Psychophysics*, 26, 481-488.
- 根岸一平・金子寛彦・水科春樹 (2009) 「重力方向知覚における背景刺激の傾きと種類及び身体の傾きの影響」『光学』, 38(5), 266-273.
- Norman, J. (1980). Direct and indirect perception of size. *Perception & Psychophysics*, 28, 306-314.
- Oyama, T. (1974a). Perceived size and perceived distance in stereoscopic vision and as analysis of their causal relation. *Perception & Psychophysics*, 16, 75-81.
- Oyama, T. (1974b). Inference of causal relations in perception of space and motion. *Psychologia*, 17, 166-178.
- Oyama, T. (1977). Analysis of causal relations in perceptual constancies. In W. Epstein (Ed.) *Stability and constancy in visual perception: Mechanisms and processes*. New York: Wiley, 183-216.
- 苧坂良二・中溝幸夫・古賀一男 (1993) 『眼球運動の実験心理学』 名古屋大学出版, 87-88.
- Owens, D. A. & Leibowitz, H. W. (1976). Oculomotor adjustments in darkness and the specific distance tendency. *Perception & Psychophysics*, 20, 2-9.
- Rock, I. & Kaufman, L. (1962). The moon illusion II. *Science*, 136, 1023-1031.
- Roscoe, S. N. (1985). Bigness is in the eye of the beholder. *Human Factors*, 27(6), 615-636.
- Roscoe, S. N. (1989). The zoom-lens hypothesis. In M. Hershenson (Ed.) *The Moon Illusion*. Hillsdale, N. J.: Lawrence Erlbaum Associate, 31-57.
- Schur, E. (1925). Mondtäuschung und Sehgrößenkonstante. *Psychologische Forschung*, 7, 44-80.
- Suzuki, K. (1991). Moon illusion stimulated in complete darkness: Planetarium experiment reexamined. *Perception & Psychophysics*, 49(4), 349-354.
- Suzuki, K. (2007). The moon illusion: Kaufman and Rock's (1962) apparent-distance theory reconsidered. *Japanese Psychological Research*, 49(1), 57-67.
- 鵜飼一彦 (2000) 「近見反応」 日本視覚学会 (編) (2000) 『視覚情報処理ハンドブック』 朝倉書店, 398-403.
- Wapner, S. & Werner, H. (1957). *Perceptual development: an investigation within the framework of sensory-tonic field theory*. Worcester: Clark University Press.