

主観的な重力方向の反転を促進させる因子の検討 What Promotes Reversal of Illusory Gravity Direction?

小鷹 研理[†]
Kenri Kodaka

[†]名古屋市立大学芸術工学研究科
Graduate School of Design and Architecture, Nagoya-City University
kenrikodaka@gmail.com

Abstract

This article explores multiple factors that promotes reversal of illusory gravity direction, that may deeply be related to occurrence of out-of-body experience. Especially, the author examines the effect of the postures (Supine/Upright/Prone) of HMD's wearer and the avatar's body orientation (Front/Back/Above/Below). Two kinds of subjective experiments applying thevection paradigm suggest that the reversal of illusory gravity direction in HMD space tends to occur under the artificial conditions (Supine, Front/Above) that are deeply close to the typical spatial situations reported for the out-of-body experience.

Keywords — Out-of-body Experience, Sense of Gravity, Vection, Body Orientation, Full-body Illusion

1. はじめに

仮想空間において、対面や距離的にもレンジの広い状況が想定されるアバターに対して、プレイヤーの身体所有感を投射することは原理的に不可能である (Blanke, 2012)。つまり、身体所有感の投射に拘る限り、プレイヤーは、仮想空間でアバターに生じた出来事を文字通り自分自身の身体に生じたものとして受け止めることができない。他方、幽体離脱は、身体から視点が空間的に分離してもなお、大元の身体に対する所有意識が損なわれない認知現象である。従って、幽体離脱中に自分の身体を俯瞰する認知モードを、プレイヤーの視点とアバターの視覚イメージとの関係に適用することは有用である (小鷹, 2017)。しかし、幽体離脱を実験室で誘発する手法は未だ確立されていない。

種々の文献によれば、健常者が遭遇する幽体離脱の73%、脳疾患に起因する幽体離脱の80%が、仰向けの状態で経験されていることが指摘されている (Blanke, 2012)。さらに、この際、身体から切り離れた視点は、多くの場合、(実環境においても実験環境においても) 上方へと移動し、天井からぶら下がるようにして自分自身を見下ろすような主観的な状態がとられる (Blanke, 2002)。このとき、寝ている身体を見下ろす主観的な水準の身体の姿勢 (うつ伏せ) は、実際の物理状態 (仰向け) を (正中線を軸として) 180度回転させた形を

とっている。すなわち、典型的な幽体離脱では、主観的に感じられる重力の方向が反転していることがわかる。以上を踏まえ、筆者らは、主観的な重力方向を錯覚させることが、幽体離脱的な投射を引き起こす上での一つの要件となっているという仮説を採用し、そのような錯覚を生み出すための条件を探るプロジェクトをすすめている。

前記の重力反転は、実験室において Full Body Illusion を誘発する VR 環境で確認されている (図1の down group)。Ionta らは、仰向け状態で HMD を装着した被験者が、視線の先に呈示された、(被験者と同じ方向を向いている) アバターをちょうど背面から凝視するとき、1/3 程度の被験者が、アバターを上から見降ろしているような主観状態に転ずることを明らかにした (Ionta, 2011)。この実験パラダイムは、その後、Pfeiffer らによる一連の実験に引き継がれ、そのような重力反転の起こる頻度は、呈示されるアバターの傾き (Pfeiffer, C. et al, 2014a)、視覚的に暗示される重力の方向 (Pfeiffer, C. et al, 2016) によって影響を受けること、さらに、重力反転の起こりやすさに関わる個人差は、Rod-Frame Test で分類される「場依存・場独立」の対立で部分的に説明できることを明らかにしてきた。

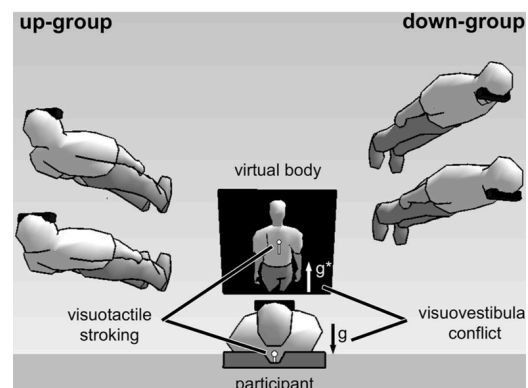


図1 Blankeのグループで採用されている Full Body Illusion の実験パラダイムを示した図 (Pfeiffer, C. et al, 2014b の図2に修正を加えたもの)

以上の知見は, Full Body Illusion の実験パラダイムを基礎とするものであるため, アバターと HMD 装着者の身体の向きが揃っていること (アバターの背面を後方から眺める) が前提となっている. さらに, Pfeiffer らの実験系では, 被験者は常にうつ伏せ状態で Full Body Illusion を誘発される. 前記のように, 実際の幽体離脱の多くが, うつ伏せ状態かつ対面状況で生じていることを鑑みれば, Pfeiffer らが見出した重力反転の誘発頻度が, HMD 装着者とアバターとの間でどのような空間的關係に応じてどのように変化するかを検証することは, 幽体離脱と重力反転との関係を明らかにするにあたって有用である. 例えば, Face-to-Face の対面状況, あるいはうつ伏せ状態において, 重力反転の頻度が増加するのであれば, それは幽体離脱と重力反転とで, 共通する認知機構が関わっていることを示唆するものとなる.

以上を踏まえて, 本研究は2つの実験を行う. 実験1は, アバターを表示しない状態で, 重力反転誘発に関わる被験者の姿勢の影響を検証する. 実験2では, 被験者の姿勢をうつ伏せ状態に固定したうえで, 視点の先に呈示するアバターの向きを変えた時の, 重力反転の起きやすさを検証する.

2. 実験 1

2.1. 手順

三つの姿勢「仰向け」「立位」「うつ伏せ」のうち, いずれかの姿勢をとった被験者に対して, HMD を通してvection (視覚誘導性自己運動感覚) を誘発する映像を呈示する. このとき, 大量の白の円形のパーティクルが, 地面へと一定速度で降下していく映像 (Fall), あるいは, 重力に反して一定速度で上昇していく映像 (Rise) のいずれかの視覚刺激が呈示される. これらの多量のパーティクルの視覚的移動 (optical-flow) は, 被験者に, 生じ得る二つの認知モードのいずれかに対応するvectionを誘発する. 例えば, 仰向け／うつ伏せ状態で Fall の視覚刺激が提示された場合, 自身の身体が地面から上昇し離れていく重力整合的なvectionに加えて, 主観的な姿勢がうつ伏せ／仰向け状態へと反転し, 地面へと降下していく 重力反転的なvectionの二種類の主観状態が取られ得る. これとは逆に, Riseの場合, 重力整合が降下運動に, 重力反転が (姿勢の反転を伴う) 上昇運動に対応する. 同様に, 立位状態における Fall/Rise は, 重力整合的な上昇/降下運動と重力反転的な降下/上昇運動を引き起こす. このとき, いずれの視覚刺激の向きに対しても, 重力反転運動は,

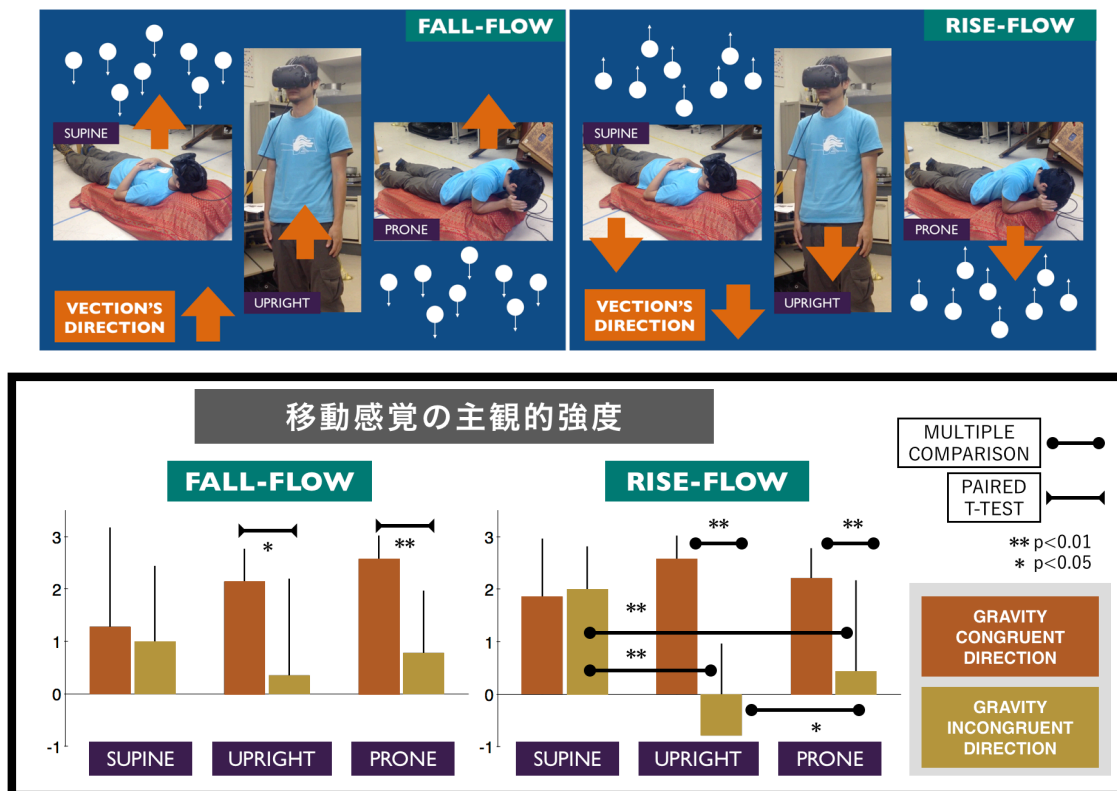


図2 実験のセットアップ (上) と実験結果 (下): 被験者は三種類の姿勢 (SUPINE/UPRIGHT/PRONE) のいずれかをとって, HMD を通して, 大量のパーティクルが降下する映像 (FALL-FLOW), または上昇する映像 (RISE-FLOW) に晒される. この際, パーティクルの動きとは逆の方向の VECTON が発生する.

直立した頭上の先に地面があるかのように、主観的なレベルで身体の下を逆さまにした状態で移動している運動に対応する。実験手順は、映像を見せる前に、重力整合または重力反転のいずれかの一方の移動イメージを想像するよう注意を促したうえで、いずれかの向きの視覚刺激 (Fall or Rise) を 20 秒間呈示した後、7 段階で移動感覚の強度を評価させた。

2.2. 結果

図 2 下に実験結果 (N=7) を示す。各要因の効果を検証するため、被験者の姿勢と重力反転の有無を要因とする二要因の被験者内分散分析を、Fall と Rise のそれぞれの視覚刺激に対して行った。

まず、Fall の場合、重力反転の主効果が得られたが ($F(1,6)=16.72$, $p<0.007$)、その他の主効果・交互作用は確認されなかった。より詳しい分析を行うため、各姿勢における重力反転の効果に対応のある t 検定で比較したところ、立位状態とうつ伏せ状態では、重力反転運動と比較して、重力整合運動に対応する移動感覚が有意に高い結果が得られた (立位状態: $t(6)=3.32$, $p<0.02$; うつ伏せ状態: $t(6)=5.55$, $p<0.01$)。

Rise の視覚刺激の場合、重力反転の主効果 ($F(1,6)=29.17$, $p<0.003$) と姿勢の主効果 ($F(2,12)=3.79$, $p<0.01$) に加え、交互作用の主効果 ($F(2,12)=8.56$, $p<0.005$) が確認された。さらに、多重比較の結果、立位状態とうつ伏せ状態においては、重力反転によって有意な水準で移動感覚が減少することがわかった (ともに $p<0.01$)。加えて、重力反転運動における移動感覚に着目したところ、全ての姿勢条件間で有意な差を確認した。とりわけ、仰向け状態の移動感覚は、他の二つの姿勢の移動感覚よりも有意に高い (ともに, $p<0.01$)。なお、いずれの視覚刺激に関しても、仰向け状態においては、重力反転の有無が移動感覚の大きさを有意に変えることはない。平均値の水準で見ても、重力反転がvectionの強度にどのような影響も与えていないの是一目瞭然である。

以上の結果は、うつ伏せ状態は、他の姿勢と比較して、主観的に反転した姿勢のイメージ (とそれに伴う重力方向の主観的反転) が経験されやすいことを示すものである。

3. 実験 2

3.1. 手順

被験者は、うつ伏せの状態でちょうど天井を見上げるかたちで HMD を装着する。HMD 内の映像は、実験 1 と同様に、大量のパーティクルが下降 (Fall)、または上昇 (Rise) するものである。またそれらのパーティクルは低速 (Low) または高速 (High: Low の 3 倍) のいずれかの速さで移動する。以上の条件によって決定するパーティクルの移動映像とともに、HMD の視点の 1.5m 前方 (つまりうつ伏せ状態の被験者のちょうど 1.5m 上方の位置) に、アバターまたはサッカーボールを固定する (以下では、ボールもアバターのカテゴリーに含めることに注意)。この際、アバターは、図 4 に示すように、Front, Back, Above (2 種類)、Below (2 種類) のいずれかの向きで固定される。すなわち、表示されるアバターは Object を含め、合計で 7 種類である。重力反転がイメージされない場合 (gravity-congruent)、Fall においてアバターは上昇しているように感じられ、Rise ではアバターは下降しているように感じられる。他方で、重力反転がイメージされる場合 (gravity-incongruent)、すなわち、HMD 装着者の視点の先に地面があるかのような重力の感覚を持つようなイメージを持つ場合、Fall/Rise においてアバターは下降/上昇するように感じられる。

被験者は、特定の視覚刺激の速さ・向き、およびアバターの向きによって決定される、それら 3 つの条件の組み合わせに固有の視覚刺激を与えられるとすぐに、視点の先に見えるアバターが上昇する運動イメージと、降下する運動イメージの二つのモードを想像してもらう。その後、なるべく早く「どちらの運動イメージが、自分にとってより自然に受け入れられやすいか」を、上か下かの二択で解答してもらう。このとき、Fall に対しては下を回答した場合、あるいは Rise に対しては上を回答した場合に、被験者は重力反転した運動イメージを好むものとみなし、重力反転の回数としてカウントする。実験は、7 (アバターの向き) $\times$ 2 (視覚刺激の向き) の 14 の試行を含む 1 つのセッションを 4 回繰り返す。つまり、一種類のアバターの向きに対して、実験を通して合計で 8 回の試行を行う。各セッションでは視覚刺激の速さが固定され (セッション間で交互に切り替わる)、セッション内では視覚刺激の向きが交互に切り替わっていく。なお、一つのセッションの中で、特定の向きのアバターの向きが連続しないように、順番を無作為に決定した。

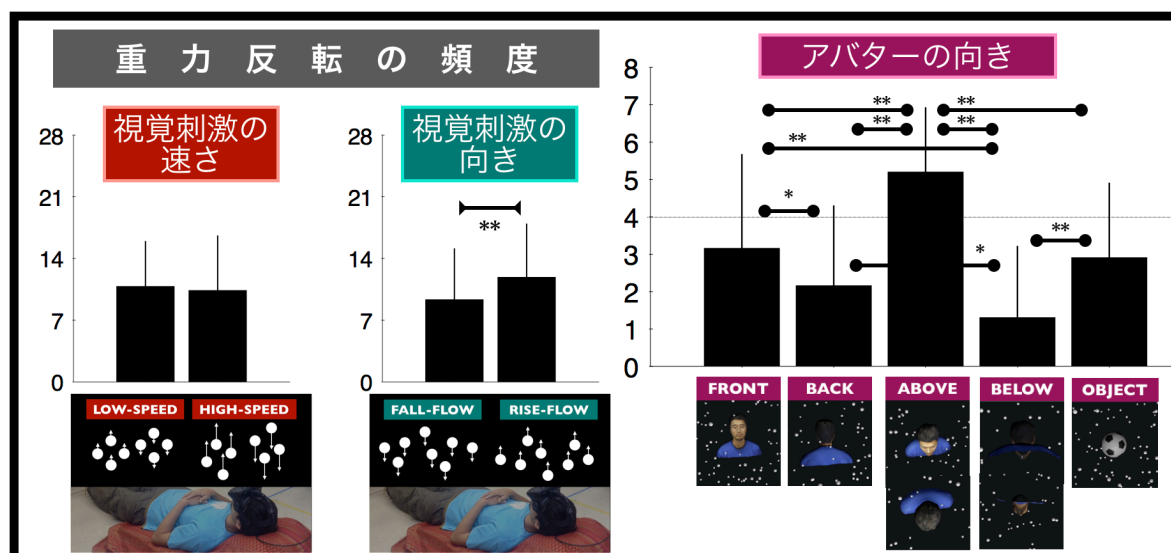


図4 実験2の結果（有意差の記号の意味は、図3と同様）

3.2. 結果

図4に実験2の実験結果 (N=24) を示す。図4左は、その他の条件の違いを全て無視したうえで、二つの「視覚刺激の速さ」条件 (Low vs High) における重力反転の頻度を合算したものを比較したものである（各条件に対して重力反転の最大頻度は28であることに注意）。対応のあるt検定で比較したところ、速度の違いで有意な差は認められなかった ($t(23)=1.15$, $p=0.26$, n.s.)。同様に、その他の条件の違いを無視したうえで、二種類の「視覚刺激の向き」条件 (Fall vs Rise) で重力反転頻度を比較したところ、Riseの方が、有意な水準で、より多くの重力反転を引き起こすことが示された (図4中: $t(23)=2.92$, $p<0.01$)。最後に、「アバターの向き」を要因とする被験者内分散分析を行ったところ (AboveとBelowについては平均化し、それぞれ1つの条件として処理した)、アバターの向きの主効果が確認された ($F(4,92)=25.61$, $p<0.01$)。さらに多重比較 (Ryan's Method) により、それぞれの「アバターの向き」による重力反転頻度を比較したところ、Aboveは、他のどの条件と比較しても、有意な水準で頻繁に重力反転を誘発することがわかった (全て、 $p<0.01$)。それとは逆に、Belowは、その他の4つの条件に対して、有意な水準で重力反転の頻度が少ない (Backに対して $p<0.04$, それ以外は $p<0.01$)。それ以外のペアに着目すると、唯一、FrontとBackの間で有意な差が確認された (Front vs. Back: 3.17 vs. 2.17, $p<0.02$)。

4. 考察

本実験で扱った主観的な「重力反転」とは、物理世界の重力の方向を、実際とはあべこべに体験すること、すなわち、“天井を地面として、地面を天井として”感じることである。実験1の結果によれば、立位状態およびうつ伏せ状態では、通常の重力方向と整合的な移動感覚 (vection) と比較して、「重力反転」した移動イメージを適用したときのvectionの強さが有意に減退するという（ごくごく自然な）結果が得られた一方で、仰向け状態では、一転、通常のvectionと重力反転vectionとの間で、主観的な移動感覚の強度が一切変化しない、という驚くべき結果が得られた。加えて、Riseの視覚刺激を与えられた場合、うつ伏せ状態は、他の姿勢と比較して、より強い重力反転vectionを経験する。これらの結果は、うつ伏せ状態が、他の姿勢と比較して、重力反転に対応する特殊な認知モードによって親和的であることを示すものであると同時に、幽体離脱がうつ伏せ状態でより多く報告されている事実と符合する点でも興味深い。関連して、実験2では、その種の重力反転が、Riseの視覚刺激に対して、より生じやすいということも示された。この結果は、一見すると、直感に反するように思われる。なぜなら、Fallにおいて多量のパーティクルが一定速度で降下するビジュアルは、ちょうど雪が降っている状況に近いので、経験的知識を頼りにすることで、重力反転イメージ（「空から見下ろしたらこんな風にみえる、」）を構成しやすくなるように思われるからである。しかし、実際には、そのような経験的なイメージとは結びつけられないであろう、上昇するパーティクルの重力反転イメージの

方を、より自然なものと受け入れる傾向にある。こうした結果は、重力反転に、ボトムアップな認知機構が深く関与していることを示唆するものである。なお、仰向け状態において **Rise** の視覚刺激を呈示された場合の重力反転は、**HMD** 装着者自身（もしくは、装着者の視点の先にいるアバター）が、うつ伏せ状態に転じて、地面から上昇していく運動イメージに対応する。実は、この点に関しても、幽体離脱において指摘されることの多い「浮遊感」と符合する。素朴に考えると、寝ている状況から、それを見降ろすようなかたちで視点を上方に“引き剥がす”ためには、上昇する感覚が付随していると考えるのが（空間的な連続性を説明するという意味で）自然である。いずれにせよ、今回の結果で得られた、重力反転状況における、「降下感」と比較した際の「上昇感」の優位性は、幽体離脱における「浮遊感」の正体を検討する上でも非常に示唆的である。

実験2では、アバターを頭上から見上げている状況で、最も重力反転の頻度が高くなることがわかった。この結果は、**Pfeiffer** らの実験結果を追認するものである（**Pfeiffer, C. et al, 2014a**）。また、これらの結果は、全身の **Own Body Transform** において、アバターを上方から眺めるような視点関係をとった際に、より心的回転の **Reaction Time** が短くなることも関係している可能性がある（**Schwabe, L. et al, 2009, Braithwaite et al, 2013**）。例えば、上方視点において心的回転のコストが下がることと、内的に重力反転を経験していることとに何らかの関係があると考えてみることは興味深い。本実験では、このようにして観測された上下の非対称性とは別に、前後の非対称性（**Front vs Back**）についても興味深い結果が得られた。実際、重力反転頻度の差異の絶対値としては少ないものの（**3.17 vs 2.17**）, **Front** と **Back** では **Front** の方が有意な水準で重力反転の頻度が高くなるという結果を得ている。この結果は、**Full Body Illusion** 誘発における中心的な要件である「自分を背後から見る状況」よりも、幽体離脱において親和的な対面状況において、より重力反転が起きやすくなることを意味するものであり、視触覚同期や空間的整合性によって構成される **body ownership** の投射が、重力反転の認知プロセスとは独立した機構であることを鮮やかに示すものである。さらに、**Front** における **HMD** 装着者とアバターの空間的関係は、アバターがうつ伏せになっている被験者自身であると見立てると、幽体離脱の空間的な構図と完全

に符合しており、この点も非常に興味深い。

以上で注目した結果は、いずれも、**HMD** 環境において観測される重力反転と幽体離脱とが、同一の認知機構を共有していることを示唆するものである。さらに、本研究では、**Pfeiffer** らの実験パラダイムに **Vection** の実験パラダイムを組み合わせることによって、新たに、「上昇感 vs 降下感」に関わる要因を扱えることがわかった点についても大きな意義がある。今後、アバターの設計や被験者数などを再検討し、より信頼性のある実験系を構成することが課題である。

5. 謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 15K21281、中山隼雄科学技術財団の助成を受けた。

参考文献

- [1] Blanke, O. Multisensory brain mechanisms of bodily self-consciousness. *Nat. Rev. Neurosci.* 13, 556–71 (2012).
- [2] 小鷹研理, **HMD** 空間における三人称定位：幽体離脱と **Own Body Transformation** からのアプローチ, 日本認知科学会第 34 回大会, 金沢大学, 2017.9.14 (OS, 口頭発表)
- [3] Blanke, O., Ortigue, S., Landis, T. & Seeck, M. Stimulating illusory own-body perceptions. *Nature* 419, 269–70 (2002).
- [4] Ionta, S. et al. Multisensory mechanisms in temporoparietal cortex support self-location and first-person perspective. *Neuron* 70, 363–74 (2011).
- [5] Pfeiffer, C. et al. Multisensory Origin of the Subjective First-Person Perspective: Visual, Tactile, and Vestibular Mechanisms. *PLoS One* 8, (2013).
- [6] Pfeiffer, C., Serino, A. & Blanke, O. The vestibular system: a spatial reference for bodily self-consciousness. *Front. Integr. Neurosci.* 8, (2014a).
- [7] Pfeiffer, C., Schmutz, V. & Blanke, O. Visuospatial viewpoint manipulation during full-body illusion modulates subjective first-person perspective. *Exp. Brain Res.* 232, 4021–4033 (2014b).
- [8] Pfeiffer, C., Grivaz, P., Herbelin, B., Serino, A. & Blanke, O. Visual gravity contributes to subjective first-person perspective. *Neurosci. Conscious.* 2016, (2016).
- [9] Schwabe, L., Lenggenhager, B., & Blanke, O. (2009). The timing of temporoparietal and frontal activations during mental own body transformations from different visuospatial perspectives. *Human Brain Mapping*, 30(6), 1801–1812.
- [10] Braithwaite, J. J., James, K., Dewe, H., Medford, N., Takahashi, C., & Kessler, K. (2013). Fractionating the unitary notion of dissociation: disembodied but not embodied dissociative experiences are associated with exocentric perspective-taking. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 719.