

## ●●●●あの論争は…いま？ (11) ●●●●

ブラックホール回転エネルギー抽出過程をめぐる  
因果律論争*Extraction Process for the Rotational Energy of Kerr Black Holes:  
The Causality Question*

岡 本 功

〈ブラックホール鉱業研究所 〒191-0034 東京都日野市落川 114-6〉

e-mail: iokamoto@m2.hinocatv.ne.jp

論争の種: ブラックホール回転エネルギーの電磁気学的抽出過程は因果律に反するか

論争の始まり: 1980年代中頃

主な対立点: いわゆる Blandford-Znajek 過程と Punsly の主張する gravitohydro-magnetics

現在有力な説: Blandford &amp; Znajek および Punsly はともに間違っている。地平面上空ヌル面に対する単極発電子が存在し、外部古典的領域および内部一般相対論的領域での電流の駆動源になっている。

1. 因果律問題: 間違いと見落としの  
連鎖の産物

ここに1個の、ある超一流メーカーの手になる懐中電灯があるとしよう。それが要求される機能を発揮するには何が必要か？明らかに、電池と電球である。ところが、あるべきはずの電池が見当たらない。そのメーカーはそれでも電灯が点くと主張し、ライバルメーカーはそれでは因果律に反すると主張する。このような論争は、物理学の大前提である因果律をめぐる大問題であるといえるか？賢明なる月報読者諸氏は“何を馬鹿げたことを”と思われるに違いない。ところが、ブラックホール回転エネルギー抽出過程をめぐる、筆者も巻き込んで Punsly と Blandford 間で20年間にわたって繰り返されてきた因果律論争なるものは、問題点を単純化すればこのような

ものである。むしろ大問題はそのような欠陥商品が依然市場に出回っていることである。ここで、電球は粒子加速領域、懐中電灯容器はフォースフリー磁気圏、電池はパルサー型単極発電子である(図1)。

1977年 Blandford と Znajek は、当時のフォースフリー・パルサー磁気圏モデルを拡張・応用して、カーブラックホールから回転エネルギーを電磁氣的に抽出する方法を提唱した<sup>1)</sup>。これはその後 Blandford-Znajek process として広く参照されることになる。同時に、その後長年にわたる論争の種となったのが、彼らの“地平面境界条件”である。中性子星表面には磁力線が凍結しているので、その表面に単極発電子の存在を想定することができるのに対し、ブラックホール地平面には磁力線が凍結していないので、そこにパルサー型の単極発電子の存在を想定できない。彼らは代わり

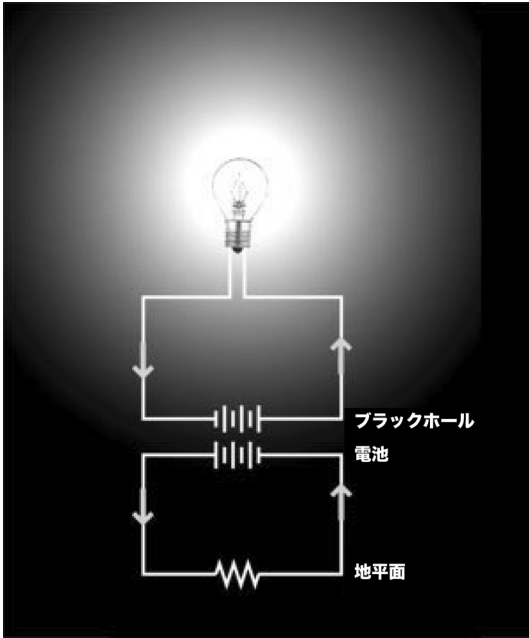


図1 ブラックホール懐中電灯回路図。懐中電灯を点灯するため、地平面上空にあるヌル面  $S_N$  の下に隠されている対の電池を発掘する。BZ 過程<sup>1)</sup>にはこの電池が備わっていないため、因果律問題を引き起こしている。

に Znajek が定式化した“地平面境界条件”を用いたのである<sup>2)</sup>。つづいて、Macdonald & Thorne<sup>3)</sup>, Thorne, et al.<sup>4)</sup> は 3+1 形式の一般相対論を定式化し、Membrane Paradigm を提唱した。Phinney<sup>5)</sup> は MHD のブラックホール風・磁気圏論の構築を試みた。彼らはブラックホール地平面にパルサー型の単極発電子が存在すると考えた。

このような Caltech グループのブラックホール風・磁気圏論に対し、Punsly & Coroniti は、BZ 過程で用いられた“地平面境界条件”は因果律に反するし、また地平面にはパルサー型単極発電子はありえないと考えた<sup>6)</sup>。そして、地平面上空で電流の源となるダイナモを探したが発見できなかった<sup>7)</sup>。かくして、20 年以上にわたって繰り広げられる因果律論争の幕開けとなった。間もなく Thorne, Phinney, Coroniti はこの論争の表舞台から降りてしまい、Blandford 一人が Punsly の批判

の矢面に立たされて、死に体同然であるが、辛うじて徳俵の上で踏み止まっている。Punsly はなぜ攻め切れないのか？ それは争点が因果律問題にすり替わって、“反する”，“反しない”という水掛け論に陥っているからである。また、Punsly 自身にも間違いがある。そして、Punsly, Blandford それぞれ互いに相手が間違っているところはわかっているが、自分の非は認めないという泥沼状態が続いている。

このような“因果律問題”と呼ばれてきた混乱と停滞は、内部ファースト磁気音速面  $S_{IF}$  での臨界条件を地平面  $S_H$  での境界条件と見なした“間違い”<sup>1)</sup>、さらに地平面にパルサー型単極発電子を置いた“間違い”<sup>3)-5)</sup>、地平面上空にあるヌル面  $S_N$  の下の粒子生成ギャップと二つの単極発電子の存在の“見落とし”<sup>7)</sup>、などが重なった結果として生じたものであるというのが筆者の主張である<sup>8)</sup>。

## 2. 問題点と対立の構図

まず、以下の小節で、エネルギー抽出過程に対する“正しい”（と筆者が信じるところの）モデル<sup>8)</sup>に照らし合わせて、Blandford, Punsly 両者の主張を検証し、筆者の立場と取り巻く状況を説明する。

### 2.1 Blandford の“良心的な”対応

1) 現在しばし“BZ 過程”として参照されている論文<sup>1)</sup>が書かれた 1977 年当時、Znajek<sup>2), 10)</sup> は (i) 地平面が有限の電気抵抗をもつ、(ii) 磁力線はそこに凍結できないので、ブラックホールと field line の角振動数  $\Omega$  は不一致 ( $\Omega_F \neq \Omega_H$ ) である、(iii) 地平面境界条件として  $\Omega_F$  を与えることができない、(iv) 地平面にパルサー型単極発電子は存在しえない、などを理解していたと思われる。そこで彼は  $\Omega_F$  を“電流函数”  $I$  に関係づける“地平面境界条件”を導いた<sup>2)</sup>。この“地平面境界条件”は形式的には磁場構造を決めるトランスフィールド方程式の slow-rotation limit で“正し

い” (proper) 解を与えた<sup>1)</sup>。しかし“物理的には”どこにも  $\Omega_F$  に対応したブラックホールダイナモの実体がなく、その後 30 年間に及ぶ混乱の始まりとなった\*1

2) BZ 過程において、 $\Omega_F$ ,  $I$  の関係は Znajek の地平面境界条件<sup>2)</sup>で決められると考える。しかしこれがアウトフローに情報伝達されるためには超光速的な速度が必要で、“反因果的”であるという Punsly & Coroniti の批判を招く<sup>6), 7)</sup>。これに対して、Blandford は MHD 磁気流体波動伝搬論を展開し、地平面境界条件を正当化しようとした。彼は 2002 年にも<sup>11)</sup>、再度 FFDE 磁気圏での MHD 磁気波動伝搬論を繰り返して、Punsly<sup>12)</sup> の反撃にあっている。

3) Blandford は、因果律問題の解決に、数値シミュレーションを推奨し続けたが、これは混乱を理論からシミュレーションの分野へ拡大させた。最近の数値計算が示すエルゴ領域内での“激しい現象”に関して、彼は“究極のエネルギー源はエルゴ領域で電磁場がメトリックに対してする仕事”といったような解釈を述べているが、この示唆は彼が行っている“磁気流体波による地平面境界条件の正当化”とどう調和させるのか不明である<sup>11)</sup>。

4) カーホール磁気圏において古典的な領域と一般相対論的領域（有効エルゴ領域）を分けるのは地平面 ( $\omega = \Omega_H$ ) 上空の上ヌル面  $S_N$  ( $\omega = \Omega_F \approx (1/2)\Omega_H$ ) であることを最初に指摘したのは筆者<sup>13)</sup>であった。このとき Blandford はレフリーとして、筆者に因果律問題についてコメントを求めた。その時点で  $S_N$  の存在という、問題解決への“正しい”方向を示していたが、悲しいことに最終的な解決案を提示するまで至らなかった。また、電池のありかについては、Macdonald & Thorne<sup>3)</sup>, Phinney<sup>5)</sup> の考えをそのまま受け入れていた。

Blandford は論文の受理を勧告したものの、以後この論文を参照することはなかった。彼は Mestel meeting (1993) で  $S_N$  を“a kind of critical surface”と記述しているが<sup>14)</sup>、これについても以後言及することはなく、誰も  $S_N$  の重要性に気づく者はいなかった。下司の勘繰りであるが、 $S_N$  の下に潜む“危険性”を感じ取っていたと思われる。ともあれ彼は  $S_N$  の存在を提起した筆者の論文<sup>13)</sup>を完全に無視したのである。

5) Blandford はある時期から因果律に関してわからない、“良心的” (scrupulous) でありたいとして、関連論文のレフェリーやコメントを避けるようになった。今回の筆者の因果律問題解決への努力<sup>8)</sup>に対しても、問題が BZ 過程における“欠陥の有無”へと変質してきているにもかかわらず、依然、物理的な内容に踏み込んだコメントをすることやレフェリーを引き受けを避け続けた。このことは、盲目的に BZ 過程を支持するえげつないレフェリーと闘えということの意味した。

## 2.2 Punsly の悲運

1) Punsly & Coroniti<sup>6), 7)</sup> は、Znajek の“地平面境界条件”がはるか外側のアウトフローに伝えられるのには、光速を超えた情報伝達速度が必要であることを正しく指摘した。彼らの最初の誤算は、“地平面境界条件”という間違いを、因果律に関する物理学の大問題にしてしまったことである。結果として、問題点の所在が曖昧になり、Blandford の誤った反論に対し決定打を放つことができなかった。

2) Macdonald & Thorne<sup>3)</sup>, Thorne, et al.<sup>4)</sup>, Phinney<sup>5)</sup> ともカーホール回転エネルギー抽出過程の研究に取り組んだが、彼らはいずれも地平面上にパルサー型単極発電子の存在を想定している。Punsly & Coroniti<sup>7)</sup> は、地平面にバッテリーが存在しえないことは明確にしたうえで、さらに

\*1 その背景には、当時から現在に至るまで、MHD/FFDE において、バッテリー・起電力、電流線、抵抗など、直流電気回路論の基礎的な概念が十分確立されていなかったという事情がある<sup>8), 9)</sup>。(MHD: 磁気流体力学, FFDE: フォースフリー縮退電気力学)

地平面上空にバッテリーを探したが、その時点で発見できなかった。その結果パルサー型単極発電子モデルは成り立たないと考えた。これが第二の誤算である。

3) Punsly は, Blandford が頑固に主張する“地平面境界条件は物理的には正しい”と思い込んで, BZ 過程は反因果的であると考えたが, さらにこれを拡大解釈して, 広く一般的に MHD アウトフロー論においても, 星表面(磁気圏底)での“境界条件”によって MHD 積分の角運動量積分  $\beta$  (FFDE では電流関数  $I$  と一致) が決められると考えた。そしてパルサー MHD ウインドに対する Michel の “minimum-torque solution”<sup>15)</sup> は, 星表面層で minimum entropy という条件を満たすように決まると考える。当然これは十分遠方での  $S_F$  での“臨界条件”を満たすとは限らないので, ユニークな解は定まらない。このようにして, 一般的に定常・無散逸 MHD ウインド論は役立たないと見なしてしまう。その結果, Kennel, Fujimura, & Okamoto<sup>16)</sup> の perfect MHD critical wind theory までも誤りと判断した<sup>17)</sup>。これが彼の第三の誤算である。

4) Blandford の地平面境界条件の正当化の継続的な試みは, Punsly をますます Perfect FFDE/MHD モデルの否定へ追いやった。これらの無散逸モデルは基本的に反因果的と見なして, 散逸的な gravitohyromagnetics を提唱した<sup>18)</sup>。彼のモデルは磁場構造を仮定していて, それがどのようなプロセスあるいは方程式で決まるか, 明らかにしていない。彼は数値シミュレーションで現れた“エルゴ領域内での激しい現象”が自分のメカニズムを支持するものと考えたが, これがカーホールのスピンドウン・エネルギーとどう結びつくのか不明である。彼にとって, 地平面上空でホールバッテリーを発見できなかったとき<sup>7)</sup>が重大な分岐点で, 以後, 彼は問題解決の正しい方向からしだいに逸れていった。

5) Punsly & Coroniti はさらに混迷を深める

不確かな推測をする<sup>7)</sup>: “BZ 解は数学的には正しいが, 物理的には反因果的である。この反物理性は, この解の安定性を調べれば不安定な振舞いとして現れるであろう”。この結果, “数値的にフォースフリー解を調べたら安定であった。したがって, 因果律に反しない”などという誤った主張がなされることになった<sup>19)</sup>。

6) Caltech グループの大方の Punsly 観は, Blandford の見方そのままである: “Punsly は何か大事なことを指摘している。しかし, 結局, 彼は間違っている”。彼は, 関連した多くの論文をほとんどリジェクトされることなく出版できている。それは, 彼の間違いが Blandford の間違った主張の延長線上にあることのほかに, Caltech グループの誰も, 彼の BZ 過程は反因果的であるという主張を論破できないためでもある。しかし, BZ 過程は欠陥があるという Punsly の正しい指摘が, Blandford の権威の前に決定打とならない理由の一つは彼自身のモデルが, 皮肉にも Blandford の間違った主張の延長線上にあるからといえる。彼の悲運は, ブラックホール電池を発見できなかったことに始まる。

### 2.3 筆者の立場

1) 筆者がこの論争に首を突っ込む羽目に陥ったのは, 拙著論文<sup>13)</sup>のレフェリー Blandford が, 1990 年前後深刻化しつつあった因果律問題へのコメントを求めたからである。論文は, “ $\alpha\omega$  メカニズム”によって, 地平面上空にヌル面  $S_N$  が出現すること, それによって MHD/FFDE 固有の“有効エルゴ領域”ができることなどを明らかにしていた。しかし悲しいことに, その時点では筆者自身も因果律問題の本質を理解していなかったといえる。多くの人々同様, 先入観として頭から“Blandford は正しく, Punsly が間違っている”と思っていた。理由は簡単で, 彼が Blandford であったからである。筆者が Blandford を疑い始めたのは, 2002 年頃 Punsly の論文<sup>12)</sup>のレフェリーを依頼された頃からである。



2) Punsly は Blandford が“地平面境界条件”を正当化する記事を書くたびに、それを批判する論文を書いていた。その一つが筆者のところへ回ってきた。Punsly にとって、欠陥商品が市場で出回り、使われ続けることに我慢がならなかったであろう。さらに Blandford はある会議の集録として、総括的なレビュー記事<sup>11)</sup>を書いて、その中で磁気流体波動による地平面境界条件のアウトフローへの伝達を再度正当化しようとしていた。しかし Punsly はこれまでどおり抑制的で、焦点を BZ 過程の反因果性あるいは欠陥に絞り、批判の対象を Blandford, Phinney, Thorne だけに限定していた。

3) 因果律論争が決着しないのはなぜか？ Punsly がトドメを刺せないのはなぜか？ 査読を続けながら、反因果性の本質は何かを考えた。確かに、重力は自然界の他の三つの力（電磁気力、弱い力、強い力）と相性が悪いといわれていて、まだ大統一理論は完成していない。しかし、“重力と電磁気力が互いに相容れないとは聞いていない。このような物理学の応用の末端部分に物理学の根源的な問題が出てくるはずがない。どこかに欠陥があるから反因果的に見えるのではないか”。

4) Punsly<sup>12)</sup> を通す代わりに、自分で因果律問題と呼ばれる難題に決着をつけようと決めた。しかし、最終的に、 $S_N$  の下に隠されている、互いに向きが逆の対電池を掘り出せばよいという結論に至るまで、紆余曲折があり、論文として PASJ<sup>8)</sup> に掲載されるまでほぼ 5 年の歳月を要した。最も苦しめられたのは、いわゆる“レフェリー問題”である。Blandford は、1990 年代中頃から因果律問題に関して発言権がない、“良心的”(scrupulous)でありたいとして、ブラックホール磁気圏に関する論文のレフェリーを避けている。チャーチルによれば、“民主主義は人類が考え出した最悪の制度である。しかしそれよりもよい制度も考え出していない”。これにならなければ、“レフェリー制度は人類が考え出した最悪の制度である。しか

しそれよりもよい制度も考え出していない”ということになる。現行査読制度は性善説に基づいているが、性悪説でないと説明できないような現象がしばしば現れる。邪な意図をもったレビューが入り込む余地を多分に残している。往々にして編集者とレフェリーがペアになる。

5) ApJ に送った最初の原稿のレフェリーは査読作業を Punsly に丸投げし、Punsly の私的で非公式のコメントのメールをそっくりそのままレポートとして寄越した。ただし Punsly の意見それ自体は的を得たもので、その後筆者が最終結論に至る切っ掛けを与えた。この間に 03 年頃 Blandford から、“100% 間違っているといわれても驚かない”、“自分は MHD はわからない”という告白めいたコメントを受け取った。レフェリーの要求に応じて、書き足していくうちに、しだいに膨らんでレビュー的になってきたので、結局 Blandford の助言を入れて、ApJ から MNRAS に乗り換えた。問題は Blandford の権威に寄っかかる、あるいは追随する人々がレフェリーとなる場合である。MNRAS で計 4 人のレフェリーに遭遇し、2 度リジェクトされた。最初のリジェクトの第 2 レフェリー (anonymous) を除き、3 人のレフェリーは理不尽で、BZ 過程の忠実な信奉者であった。特に 2 度目のリジェクトの第 2 レフェリーは Blandford を導師と仰ぐ人物であった。悪意ある査読作業を一見正当に見せかける高度の技術を持ち合わせていて、単にリジェクトの勧告を受け取るために筆者を 7 カ月待たせたのである。しかし彼はリベンジがなされるとすれば、それは彼の師に向かうであろうことまで思いは至らなかった。私は彼のレポートおよびそれへの反論を書いて、Blandford, Phinney へ送った。かくして MNRAS での論文出版は阻止されたが、幸いにも筆者には PASJ があり、論文内容を正確に理解してくれる日本人レフェリーがいたのである。筆者が今後 MNRAS に投稿することはもうないであろう。

### 3. 社会学的 (sociological) 問題

カーブラックホール回転エネルギーの抽出過程をめぐる“因果律問題”は、1985年頃 Thorne, et al. の著書<sup>4)</sup>と相前後して、Punsly, Coroniti の UCLA グループと Blandford, Phinney, Thorne らの Caltech グループとの間の学術的な論争として始まった。今でこそいえる事柄であろうが、多分最初の Caltech 側の対応のまずさが時間発展し、現在のような Blandford, Punsly (および筆者) の間ののっぴきな確執に成長したといえる。後付けの考えであるが、Blandford は初期の段階で Punsly & Coroniti が問題点を指摘したときに、率直に欠陥を認め、“どこに、どのような形のバッテリーがあれば、欠陥のない、したがって反因果的でないモデルが造れるか”を人々に問うべきであった。ところが、Znajek の地平面境界条件を正当化するという誤った道へ最初の一步を踏み出した。以後、彼の弟子やユーザーを彼への忠実な信奉者として従えながら、その道を歩み続けている。その道はいつか来た道である。そう、第2の Eddington への道である。現状は“歴史は繰り返す”という歴史の真理を例証しつつあるように見える。

Blandford, Punsly (および筆者の) 間の確執は Eddington, Chandrasekhar の間の確執を思い起こさせる<sup>20)</sup>。当然、ここでも類似点、相違点がある。よく知られているように、1935年王立天文学会において大英帝国植民地出身の若きポストドクが、当時の学会最高権威ケンブリッジ大学教授の前で白色矮星の内部構造に関する研究発表を行った。ミクロの世界の量子力学的な効果がマクロな天体である白色矮星の質量限界を決めていることが初めて明らかにされた。現在それは Chandrasekhar limit といわれる。教授にとっては、ポストドクの理論には致命的な欠陥がなければならなかった。それを自分が鋭く指摘する。ところが、彼の理論に欠陥はなかった。多分それが許せな

かったのであろう。同世代の Milne, McCrea をはじめ多くの人々が学問的な内容の正しさを認めつつも、Eddington の権威を恐れて Chandrasekhar に賛同しなかったといわれる。

これに対し、Punsly は現在広く BZ 過程と呼ばれる理論の欠陥を正しく指摘した。Blandford は直感的にそれを理解したに違いない。“何か大事なことを指摘している”。しかし Punsly は不運にも理論に欠けている電流の源を発見できず、結局上記のように“因果律に反する”と主張した(後に、“欠陥がある”(flawed) という主張に変わってきたが)。もし Punsly が当時 BZ 過程に欠けていた対単極発電子の存在を正しく提起していたら、Blandford がどう振舞っていたかは興味ある思考実験である。Blandford にとって幸いだったのは、対単極発電子は提起されず、問題が、より大きな、決着のつくはずのない因果律問題にすり変わったことである。

この二つの確執の共通点は、一方がその絶大な権威と影響力でもって、他方を封じ込めようとした点にある。British astrophysical establishment は Eddington の生存中 Chandrasekhar を受け入れなかったといわれるが、Caltech astrophysical establishment (多分アメリカ、英国全体でも) は Punsly の指摘を受け入れようとしていない。Blandford には、Phinney, Thorne といった同僚教授陣の後ろ盾があり、また Punsly と同世代の“優秀な”若手研究者 (Levinson, van Putten, Lyutikov, Krasnopolsky, etc.) は大樹の陰に寄り添い、“結局 Punsly は間違っている”として真剣に取り合おうとしていない。彼らは BZ 過程をそのまま使い続けて、Blandford の楯となり、Punsly に有形無形の圧力をかけている。“優秀な”弟子たちは学問の発展よりも、師匠の説を後生大事に守る方向に走る。“危険なもの”は阻止しなければならない。他方で、Blandford は Eddington 並みの権威でもって、欠陥商品を市場に放置したままである。その結果、多くの人々は Punsly の指摘にもかか

わらず、BZ 過程をそのまま使い続けている。Blandford の権威にこびる、寄りかかる、あるいは利用しようとする人々にとっては、BZ 過程がそのまま無事に存続し続けるほうが都合がよい。むしろ BZ 過程に欠陥があることがはっきりすることは、当惑する事態である。Blandford の権威が創り出した、このような風土が逆に第 2 の Eddington を育てる土壌となっている。

現在 BZ 過程は、ある意味で、奇妙な準安定状態にある。Punsly は今後も指摘・警告を繰り返すであろうが、免疫はできている。事態はこれ以上悪くはならない。Punsly が因果律問題の真の解決策、すなわち BZ 過程に取って替わるような正しい抽出過程を提案する心配は 99% ないからである。“結局 Punsly は間違っている”のだから。BZ 過程にとって本当に“危険”なのは、因果律問題に煩わされない“正しい”抽出過程の出現である。Blandford の“良心的な”対応は、彼の信奉者を“正しい過程”の出現を阻止する方向へ向わせている。筆者にとってレフェリー問題は極めて深刻である。Punsly にとっても、自分の想定しない形での因果律問題の決着は喜ぶべきことではないかもしれない。

#### 4. 結 論

BZ 過程は今から 30 年前に提起された。20 年前にその欠陥が指摘され、以後たびたび警告が繰り返されている。にもかかわらず、放置されたままである。それを使うとすれば、使用者の自己責任において使えとっているようなものであるが、しかし“製品”はいわば“超一流メーカー”のものである。かつては筆者がそうであったように、無知な消費者が欺かれるのは無理からぬところがある。

この閉塞状況を打破するには、欠陥のない“正しい過程”を開発する必要がある。筆者が 15 年かかって到達した過程<sup>8)</sup>は、次のようなものである：活動的なカーブラックホール磁気圏には、地平面

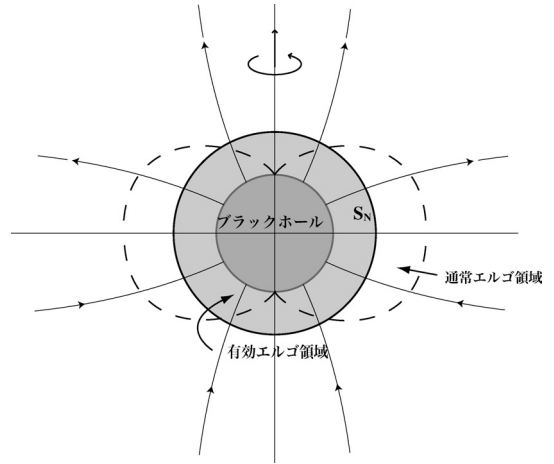


図 2 準古典的な“ブラックホール星”. 上部スル面  $S_N$  は古典的な中性子星表面とほぼ同等で、ここからアウトフローが遠心力風として吹き出す。さまざまな高エネルギー現象の駆動源として働くであろう。

上空スル面  $S_N$  の下にペアプラズマ生成ギャップを挟んで、対のバッテリーが存在して、それぞれ外部の古典的領域、および内部の一般相対論的領域において電流を駆動する。そのことによって、カーホール回転エネルギーが電流の形で汲み出される。このエネルギーはキューサー、マイクロキューサーに伴う超相対論的なジェットや GRB などのエネルギー源として活用できよう。今後究明すべきところは多々ある。そして究明に値するであろうと思われる (図 2)。

この記事で述べたような“正しい過程”に対し、Blandford が今後どのような態度をとるであろうか？ 天文学史に残るであろうこの論争がどう決着するであろうか？ これまでどおり Punsly の批判や筆者の“正しい過程”を無視し続けるか。この道は第 2 の Eddington への道である。あるいは、BZ 過程の欠陥を認め Punsly に謝罪するか。この道は Gamov のいわゆるビッグバン宇宙モデルに対して自分の定常宇宙モデルを撤回した F. Hoyle が歩んだ道である。第 2 の Eddington, あるいは第 2 の Hoyle として歴史に残るかどうかは

彼の今後の言動にかかっている。希望的な見方を述べれば、Blandford は本当に“良心的”に中立を保つため、自分が関与しない形での解決を望んでいる：深刻なレフェリー問題を醸し出しているのは想定外のことで、筆者に告げたように、“100%間違っている”ことを知りながら、これまでの成り行きから身動きが取れないジレンマに陥っている：いずれすべての結果責任を負う覚悟でいる、のかもしれない。

以上、筆者の手前味噌を並べ立てましたが、月報読者諸氏のご批判やさまざまなコメントを歓迎いたします。

### 参考文献

- 1) Blandford R. D., Znajek R. L., 1977, MNRAS 179, 433
- 2) Znajek R. L., 1977, MNRAS 179, 457
- 3) Macdonald D., Thorne K. S., 1982, MNRAS 198, 345
- 4) Thorne K. S., et al., 1986, *Black Holes: The Membrane Paradigm* (New Haven: Yale University Press)
- 5) Phinney E S., 1983, in *Astrophysical Jets*, eds. A. Ferrari & S. G. Pacholczyk (Reidel)
- 6) Punsly B., Coroniti F. V., 1989, Phys. Rev. D 40, 3834
- 7) Punsly B., Coroniti F. V., 1990, ApJ 354, 583
- 8) Okamoto I., 2006, PASJ 58, 1047  
—, 2006, CQG, submitted
- 9) Okamoto I., Sigalo F. B., 2006, PASJ 58, 987
- 10) Znajek R. L., 1978, MNRAS 185, 833
- 11) Blandford R., 2002, in *Lighthouse of the Universe*, eds. M. Gilfanov et al. (Berlin: Springer-Verlag)
- 12) Punsly B., 2003, ApJ 583, 842
- 13) Okamoto I., 1992, MNRAS 254, 192
- 14) Blandford R., 1994, in *Cosmical Magnetism*, eds. D. Lynden-Bell (Dordrecht: Kluwer)
- 15) Michel F. C., 1969, ApJ 158, 727
- 16) Kennel C. F., Fujimura F. S., Okamoto I., 1983, Geophys. Astrophys. Fluid Dyn 26, 147
- 17) Punsly B., 1998a, ApJ 497, 640  
—, 1989b, ApJ 506, 790
- 18) Punsly B., 2001, *Black Hole Gravitohydromagnetics* (New York: Springer-Verlag)
- 19) Komissarov S. S., 2001, MNRAS 326, L41  
—, 2004, MNRAS 350, 427
- 20) Miller A. I., 2005, *Obsession, Friendship, and Betrayal in the Quest for Black Holes* (Boston: Houghton Mifflin)

### Extraction Process for the Rotational Energy of Kerr Black Holes: The Causality Question

Isao OKAMOTO

*Institute for Black Hole Mining, Ochikawa 114-6, Hino-shi, Tokyo 191-0034, Japan*

Abstract: It is argued that in the active magnetosphere of a Kerr black hole there must exist the pair-creation gap with dual unipolar batteries back to back in the upper null surface  $S_N$  defined by  $\omega = \Omega_F \approx (1/2)\Omega_H$ , where  $\omega$  is the frame-dragging angular frequency,  $\Omega_H = \omega(r_H)$  is the hole's angular frequency and  $\Omega_F$  is the field line angular frequency. In the Blandford-Znajek process there is no driving source for the electric currents in the magnetosphere, which has given rise to the causality question.