

# Spacetime Structure of Black Hole Evaporation

KEK 松尾 善典

E-mail: ymatsuo@post.kek.jp

Hawking 輻射による Black hole の蒸発がして発見されてから、Black hole の蒸発の際の情報喪失について様々な議論が行われてきた。我々はこの問題に対する一つの解答として、“現実の物理では厳密な意味での horizon が存在せずこのため情報は失われない” という描像を提唱し、具体的にその模型を構築した [1]。

我々はまず前提条件として、Black hole の外側にとどまっている観測者によって、Black hole の生成から蒸発までが有限の時間で観測される、という状況を仮定した。このとき、Black hole に向かって落下する物質は horizon に到達するまでに無限の時間がかかるが、このことから最初に重力崩壊によって Black hole を構成する物質もまた、horizon を形成するまでに無限の時間が必要であることがわかる。一方、厳密に horizon が形成される前であっても Hawking 輻射は発生し、重力崩壊する物質はエネルギーを失っていくことが分かる。このため、もし外側の観測者が Black hole の蒸発を有限の時間で観測できるのであれば、horizon が形成される前に Black hole が蒸発してしまうことになる。よって、我々は厳密な意味での horizon や特異点が存在せず、情報喪失は起こらない、という描像を提唱した。

具体的な模型としては、簡単のため最初に重力崩壊する物質は球対称な shell 上に分布しているとした。この時、Hawking 輻射の効果を取り入れた時空の metric は、Vaidya 解と平坦な時空を shell の位置で接続することで得られる。我々は実際にこの時空上で Hawking 輻射を計算し、それが Einstein 方程式と consistent であること、さらに energy-momentum tensor の保存則が満たされていることを確認し、この時空が実際に Einstein 方程式の解になっていることを示した。この時空は実際に horizon も特異点もないため、Black hole の蒸発に際し情報喪失がない。

我々は次に重力ポテンシャルによって Hawking 輻射の一部が Black hole に再び戻ってくる場合を考えた。この結果、戻ってくる Hawking 輻射の効果によって shell が実質的に少し広がりを持った状況になるが、その外側はほぼ通常の Vaidya 解を用いた場合と同等になることが分かった。我々はさらに、Hawking 輻射と同等の輻射場が Black hole に戻ってくる場合を考えた。これは、ちょうど Black hole を輻射場で満たされた箱に入れて平衡状態にした場合に相当する。我々はこのとき、最初に崩壊した物質が十分 Black hole の内側に入り込み、すでに Black hole を構築する物質が shell とは呼べないような状況であっても、厳密な horizon は存在しないまま Hawking 輻射が発生していることを示した。さらに最初の shell が中心に到達し、Black hole の内側全体に輻射場が存在する場合を考えると、Black hole 内部の輻射場の entropy の和が Black hole の表面積に比例しており、Bekenstein-Hawking entropy の面積則を再現していることを示した。

なお、この発表は川合光氏、横倉祐貴氏との共同研究 [1] に基づく。

## References

- [1] H. Kawai, Y. Matsuo and Y. Yokokura, arXiv:1203.5719 [hep-th].