

5-11 X線の蜃気楼を初めて発見 —プラズマを用いた新しいX線光学素子の可能性を示す—

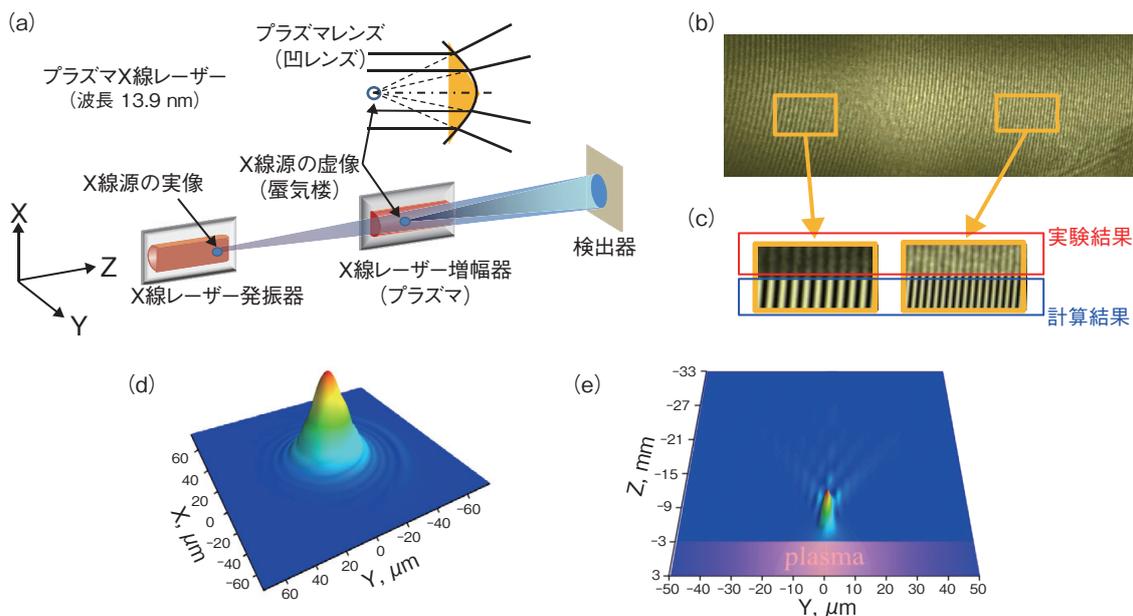


図 5-30 X線の蜃気楼形成

- (a) X線の蜃気楼形成の模式図です。X線レーザー発振器からのX線ビームの一部がX線増幅器(プラズマ)の凹レンズ効果を受けて拡がる結果、本来ない場所にもう一つの光源(虚像)が存在するかのようになります。
- (b) 検出器位置で得られたX線レーザーの干渉縞です。
- (c) 実験結果とモデル計算による干渉縞の比較です。
- (d) (e) 実験データをもとに理論計算コードにより虚像(蜃気楼)の姿を再現してみました。(d)はX-Y平面での虚像の強度分布、(e)はY-Z平面での虚像の強度分布です。

蜃気楼は、地球の大気中で可視領域の光が引き起こす現象で、本来まっすぐ進むはずの光が、不均一な大気の中を通過する際に曲がる(屈折する)ことにより生じます。ところがX線のように短波長の光は、直進性が高く屈折しにくいことから、X線領域の蜃気楼を観測することはとても難しいと考えられてきました。

原子力機構が開発した優れた指向性を持つプラズマX線レーザーを、図5-30(a)のように同じ波長のX線に対して増幅効果があるプラズマのX線増幅器に入射した際、同心円状の干渉縞が得られることを見いだしました(図5-30(b))。同心円状の干渉縞は、位相が揃った二つの光源が観測点から見て同一直線上に並んでいる場合に得られます。私たちは、この現象の説明として、プラズマの密度分布が光に対する不均一な大気のように振る舞う可能性に着目しました。今回の場合、このプラズマが凹レンズとして働くことでX線レーザービームの一部の進行方向が変わり、凹レンズの焦点位置にあたかも光源があるかのような虚像(蜃気楼)が形成されるのではと推察しました。これを理論的に検証するために、私たちは虚像の位置をプラズマ中に仮定し、本来のX線レーザーとの間の干渉縞を計算したところ、計算結果は図5-30(c)のように実験結果と完全に一致しました。通常の蜃気楼との発生機構の類似性から、私たちは今回の

事例が、世界初のX線の蜃気楼の観測例であると結論づけました。

今回の実験結果をもとにX線の虚像(蜃気楼)を視覚化するために、私たちはプラズマ中でのX線の屈折や増幅を取り入れた理論計算コードを開発しました。この計算コードを用いて、再現されたX線の虚像(蜃気楼)の強度分布を図5-30(d)と(e)に示します。また、今回の解析からプラズマにX線の増幅効果がない場合には解が得られないことから、虚像(蜃気楼)の出現には、プラズマがX線増幅効果を持つことが重要であることがわかりました。

今回発見した蜃気楼現象は、プラズマがX線に対する凹レンズのような光学素子として利用できることを示しています。一方で、干渉縞の様子から、プラズマの密度分布や増幅効果についての情報を引き出すことも可能になりました。このように、X線の蜃気楼現象は、X線を高度に制御し利用するための新しいX線光学素子の開発やプラズマ診断法の提供など、様々な実用的・科学的な応用をもたらしてくれると思われます。

本研究は、独立行政法人日本学術振興会科学技術研究費補助金(No.25289244)「高輝度コヒーレント軟X線による新しい超微細レーザー加工技術の確立」の成果の一部です。

●参考文献

Magnitskiy, S., Pikuz, T. et al., Observation and Theory of X-ray Mirages, Nature Communications, vol.4, 2013, p.1936-1-1936-7.