

研究 成 果 報 告 書

(国立情報学研究所の民間助成研究成果概要データベース・登録原稿)

研究テーマ (和文) AB		細胞内輸送における細胞膜表面の遅い拡散の役割			
研究テーマ (欧文) AZ		Role of subdiffusion on the surface of membrane in biological transport			
研究氏 代 表 名 者	カナ CC	姓)アキモト	名)タクマ	研究期間 B	2013 ~ 2014 年
	漢字 CB	秋元	琢磨	報告年度 YR	2015 年
	ローマ字 CZ	AKIMOTO	TAKUMA	研究機関名	慶應義塾大学大学院
研究代表者 CD 所属機関・職名		慶應義塾大学大学院理工学研究科・特任准教授			
<p>概要 EA (600 字～800 字程度にまとめてください。)</p> <p>細胞内では、様々な生体分子が拡散し、細胞膜上で拡散する膜貫通たんぱく質と結合することにより、様々な生物学的な反応が起きている。近年、細胞表面の水は、平均二乗変位 (MSD) が時間に対して劣線形に増大する“遅い拡散”を示す事がわかってきた。このような遅い拡散は、表面外(バルク)に比べて、細胞内の生体分子の細胞膜表面でのゆっくりとした動きを生み出し、細胞表面での生物学的反応を促進すると考えられている。したがって、異なる拡散係数を持つ環境下(バルクと表面)での拡散過程を明らかにする事は重要である。</p> <p>本研究では、解析的に扱う事ができる細胞内の拡散過程のモデルとして、z 方向にある二つの壁(細胞膜)に閉じ込められたランダムウォークモデルを用いて、MSD と一つの軌跡から得られる時間平均で定義された MSD(TAMSD) の観測時間依存性を示す。ここで、拡散係数は、ランダムウォーカーが次にジャンプするまでの時間(待ち時間)の平均値で特徴づけられ、壁近傍とバルクで拡散係数が異なっている。また、待ち時間分布は、バルクでは指数分布、表面では指数分布とベキ分布を考える。</p> <p>本研究で得られた主な結果は、</p> <p>1) (アンサンブル平均で定義された)側方 MSD(z 方向に垂直な方向)は、表面からバルクへの脱離時間の平均値が有限であれば、常に、線形に増大する。つまり、表面での拡散が異常拡散(遅い拡散)だとしても、平衡状態では、通常の拡散である。このときの実効的な拡散係数を解析的に見積もることに成功した。</p> <p>2) TAMSD の揺らぎ(標準偏差を平均で割ったもの)の観測時間依存性を解析的に明らかにした。特徴的な時間(表面からバルク、バルクから表面への平均再帰時間)より観測時間が小さい場合には、TAMSD の揺らぎはほぼ一定値となり、大きくなると観測時間と共に減衰していく。表面の拡散係数が未知の場合、この解析により、未知の拡散係数を見積もる事ができる。</p>					
キーワード FA	細胞内輸送	異常拡散	エルゴード特性	緩和過程	

(以下は記入しないでください。)

助成財団コード TA					研究課題番号 AA								
研究機関番号 AC					シート番号								

発表文献（この研究を発表した雑誌・図書について記入してください。）									
雑誌	論文標題 ^{GB}	Transition from distributional to ergodic behavior in an inhomogeneous diffusion process: Method revealing an unknown surface diffusivity							
	著者名 ^{GA}	Takuma Akimoto and Kazuhiko Seki	雑誌名 ^{GC}	Physical Review E					
	ページ ^{GF}	022114-1～022114-8	発行年 ^{GE}	2	0	1	5	巻号 ^{GD}	92
雑誌	論文標題 ^{GB}								
	著者名 ^{GA}		雑誌名 ^{GC}						
	ページ ^{GF}	～	発行年 ^{GE}					巻号 ^{GD}	
雑誌	論文標題 ^{GB}								
	著者名 ^{GA}		雑誌名 ^{GC}						
	ページ ^{GF}	～	発行年 ^{GE}					巻号 ^{GD}	
図書	著者名 ^{HA}								
	書名 ^{HC}								
	出版者 ^{HB}		発行年 ^{HD}					総ページ ^{HE}	
図書	著者名 ^{HA}								
	書名 ^{HC}								
	出版者 ^{HB}		発行年 ^{HD}					総ページ ^{HE}	

欧文概要^{EZ}

In cells, many biomolecules diffuse and many biological reactions occur by binding the biomolecules with proteins diffusing on the membrane surface. Recently, water molecules on the membrane surface show subdiffusion, where the mean square displacement (MSD) shows sub-linear growth. It is considered that such a subdiffusion provides an enhancement of biological reactions on the membrane surface with the aid of slower diffusion than in bulk. Therefore, it is important to investigate such a diffusion process where there are two different diffusion coefficients, i. e., bulk and surface diffusivity.

To consider an analytical solvable model of diffusion in cells, we consider continuous time random walk with two confinements (membrane surface) in z direction, where the diffusion coefficients can be characterized by the mean waiting time of a random walker and the diffusion coefficient on the surface is different from that in bulk and the waiting time distribution is assumed to be the exponential distribution in bulk while we consider the exponential distribution and a power-law distribution on the surface. Here, we show the (ensemble-averaged) MSD and the fluctuation of time-averaged MSD (TAMSD) as a function of the measurement time.

Main results are summarized as the followings:

- 1) Lateral ensemble-averaged MSD increases linearly with time if the mean dissociation time from the surface is finite. Even when diffusion on the surface is anomalous (subdiffusion), the MSD shows normal diffusion. We provide an effective diffusion coefficient analytically.
- 2) We show the fluctuation of TAMSDs (standard deviation divided by the mean) as a function of the measurement time. For small measurement times compared to the characteristic time in the system (the mean recurrence times from bulk to the surface and vice versa), the fluctuation remains constant, while it decays as the increase of the measurement time for large measurement times. Moreover, we provide a novel method to estimate unknown surface diffusivity by the analysis.