



IEEE AP-S Japan Chapter講演会
(Fellow 昇格記念) (H22.06.10)

サイクルスリップ物語

唐沢 好男
電気通信大学



IEEE Fellow

For Contributions to the Measurements and Modeling
of Propagation Effects in Radio Communication Systems

お世話になった方

Nominator : Dr. Wolfhard J. Vogel

References :

アメリカの研究者 5名

日本の研究者 3名

陰で支えてくれた人

岩井 誠人 氏

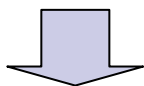
IEEE AP-S Japan Chapter の歴代執行部の皆様

講演の内容

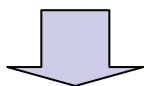
- 私の研究遍歴
- サイクルスリップと等価伝送路モデル
- サイクルスリップ物語
- セレンディピティ

私の研究遍歴 (1972～1990年頃)

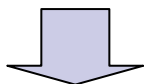
大学の卒研 (～ 1973) : 亜硝酸ナトリウムの結晶成長



民間企業に就職(2年間): 電子部品部半導体課(ハイブリッドICの開発・設計)



大学院修士課程に入学 (1975): 地球電磁気学(流星レーダーの研究)



KDDに入社(1977): 研究所にて衛星通信の電波伝搬の研究

衛星が低仰角になる場合に伝搬問題が顕在化(伝搬モデルの確立)

- ・ 海事衛星通信の海面反射フェージング → Rec. ITU-R P. 680
- ・ 対流圏シンチレーション → Rec. ITU-R P. 618
- ・ 電離圏シンチレーション
- ・ 降雨減衰 → Rec. ITU-R P. 618
- ・ 陸上移動体衛星通信の伝搬モデル → Rec. ITU-R P. 681

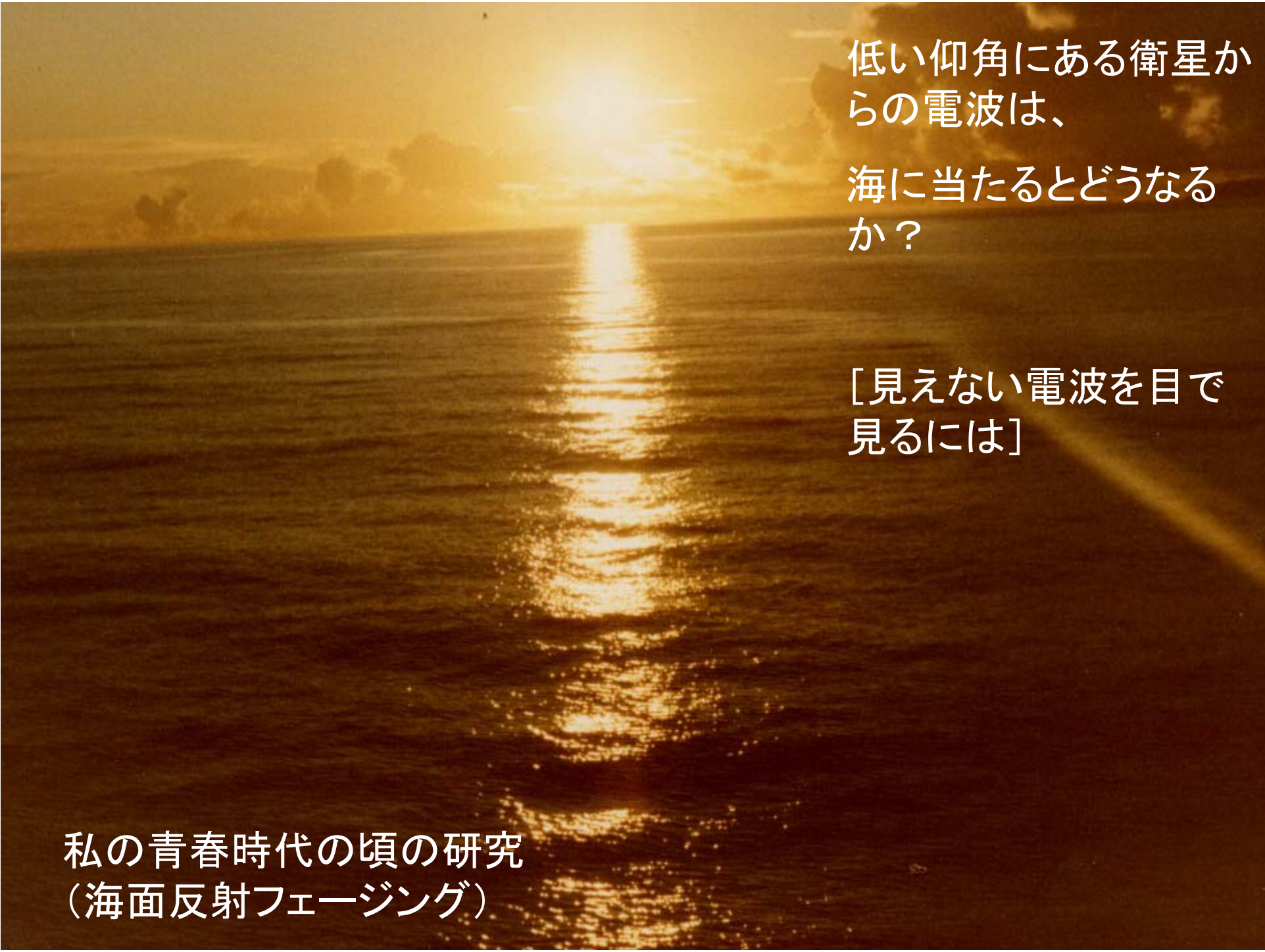




AWCC

電気通信大学



A photograph of a sunset over the ocean. The sun is low on the horizon, creating a bright, shimmering reflection that stretches down the center of the water. The sky is filled with soft, golden light and some clouds. The overall color palette is warm, dominated by oranges, yellows, and browns.

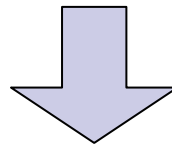
低い仰角にある衛星からの電波は、

海に当たるとどうなるか？

[見えない電波を目で見るには]

私の青春時代の頃の研究
(海面反射フェーシング)

1990年頃： 衛星通信の国際通信における重要性が低下
関連して、電波伝搬の研究もテーマがなくなってきた



地上系の移動通信の電波伝搬へ方向転換
(実験手段(＝電波免許)を持たず、後入りでできること)

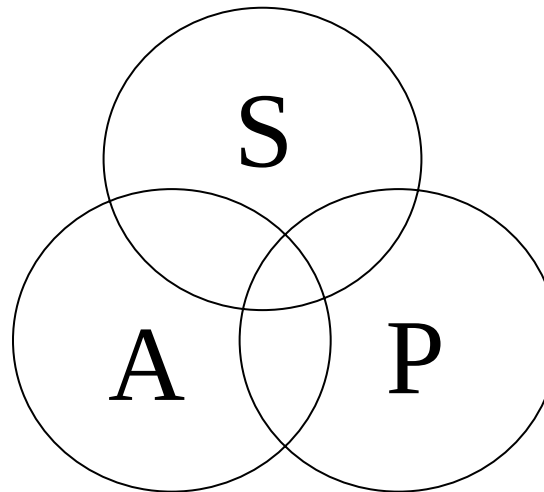
- 広帯域多重波伝搬理論
- アダプティブアレー



新しい分野の研究に入るときに実践したこと

その分野の第一線で研究している人、その分野の研究を牽引している人(あるいはグループ)をひとつ選び、その人の論文を徹底的に調べる。

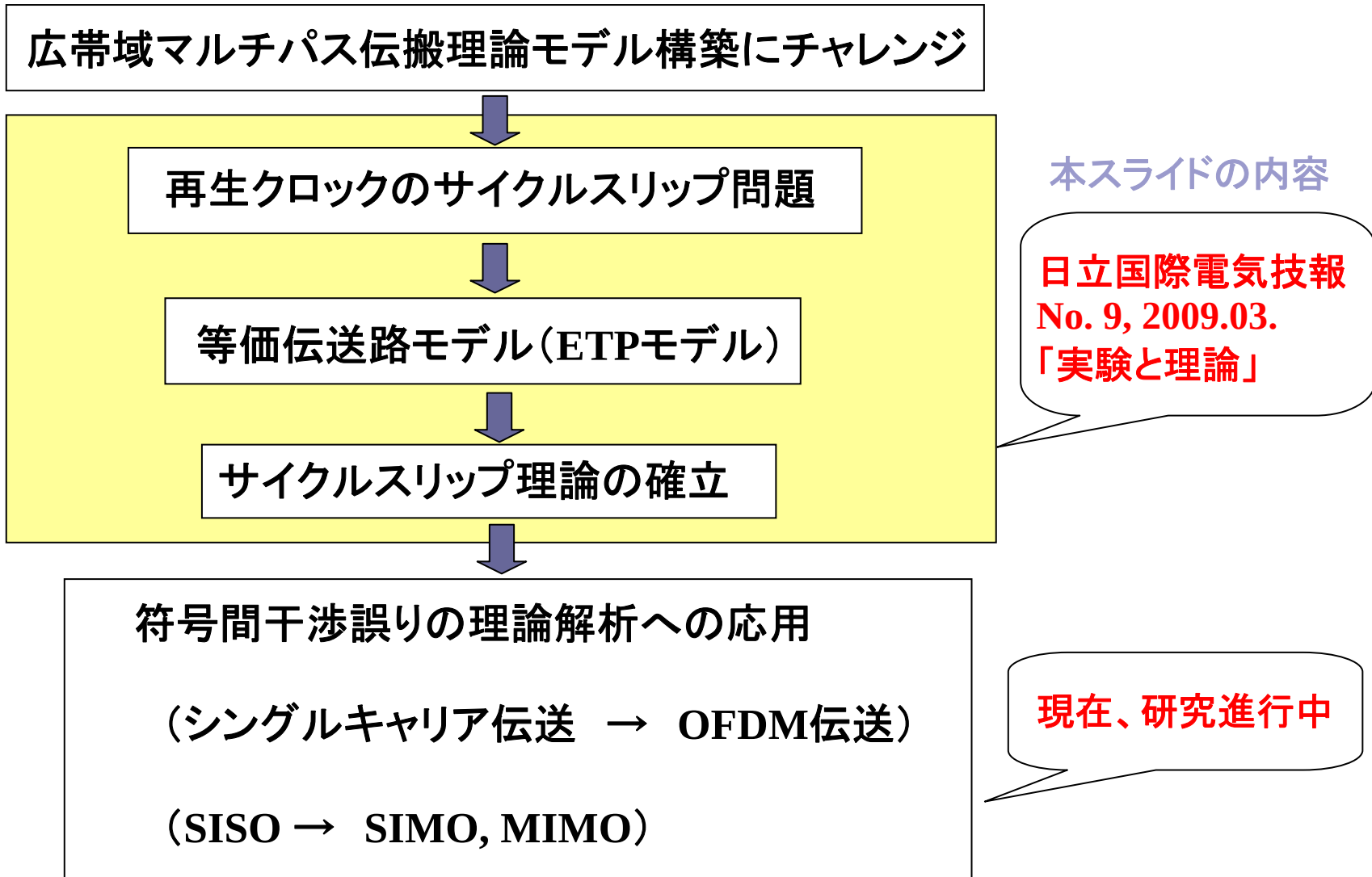
池上文夫先生の研究室の論文



APS三位一体の思想

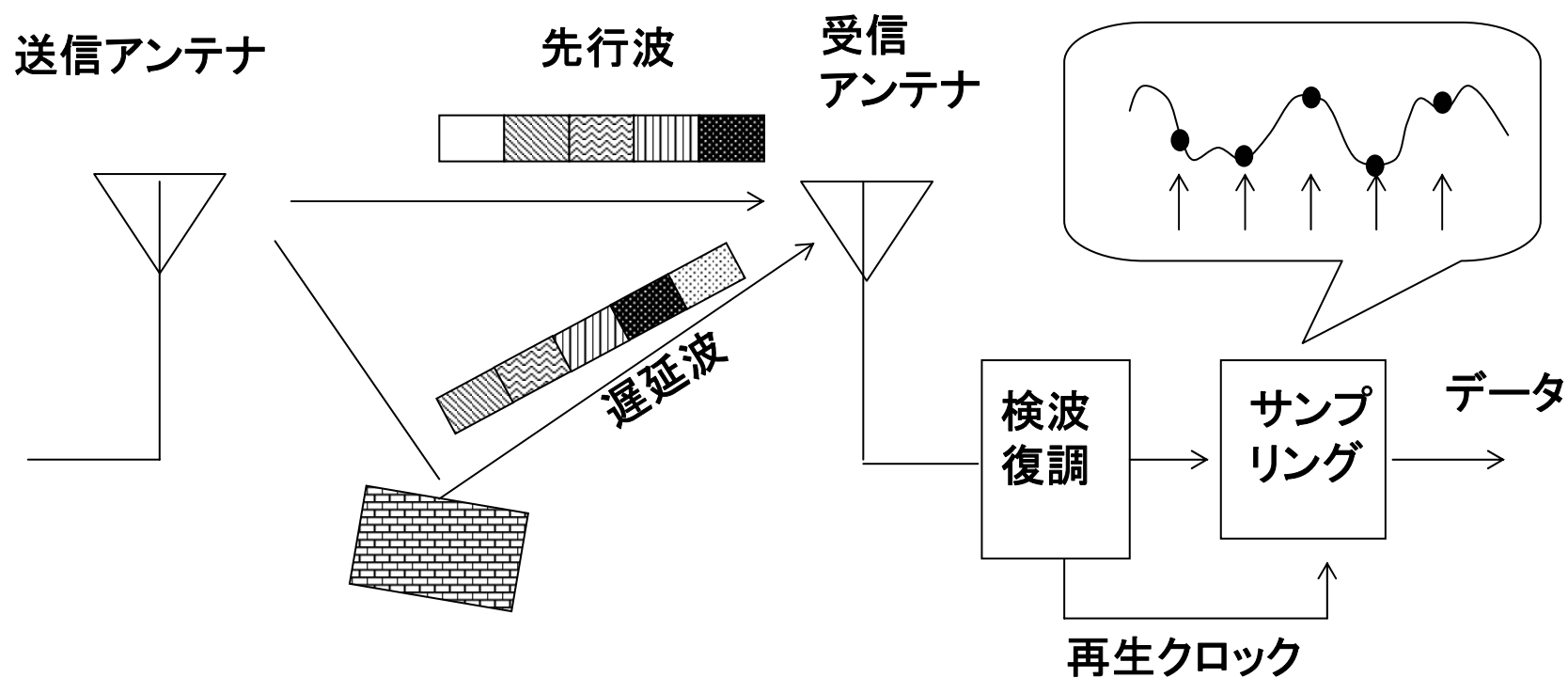


私の研究遍歴 (1990年頃～現在) (KDD研 → ATR → 電通大)



遅延差のある2波が入射した場合の受信機の反応は？

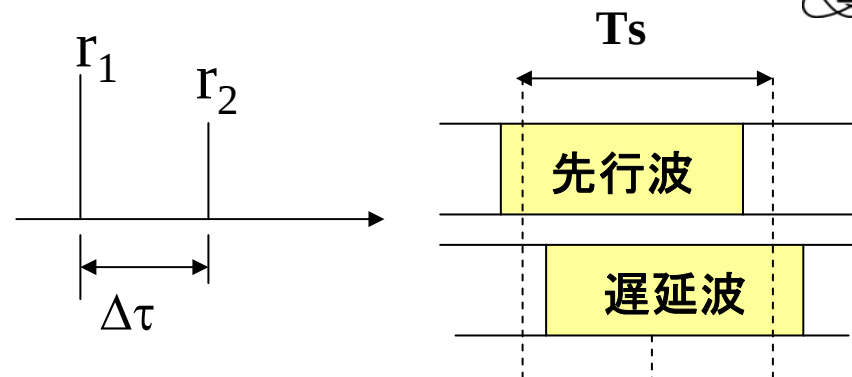
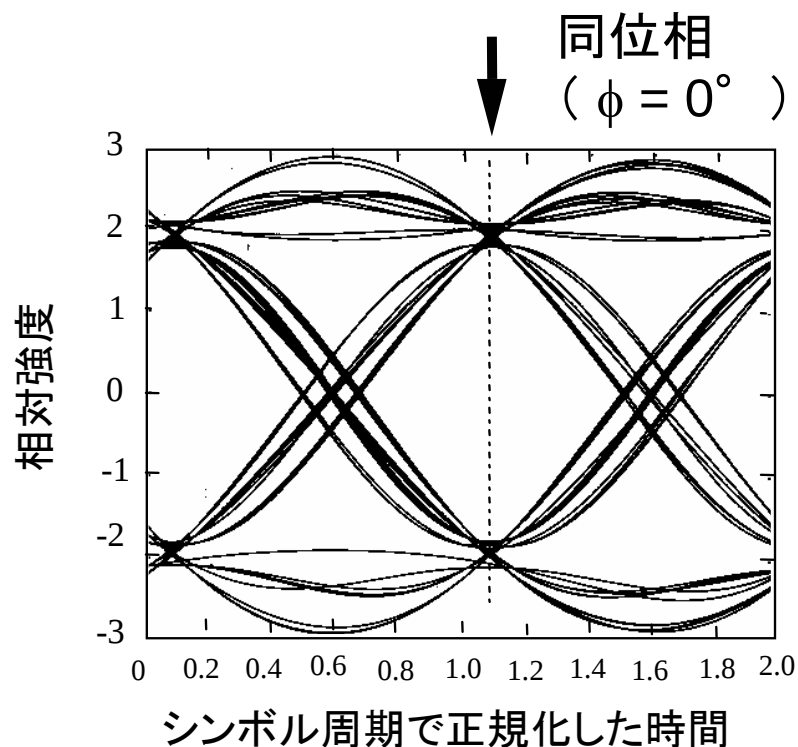
この問題は
意外に難しい



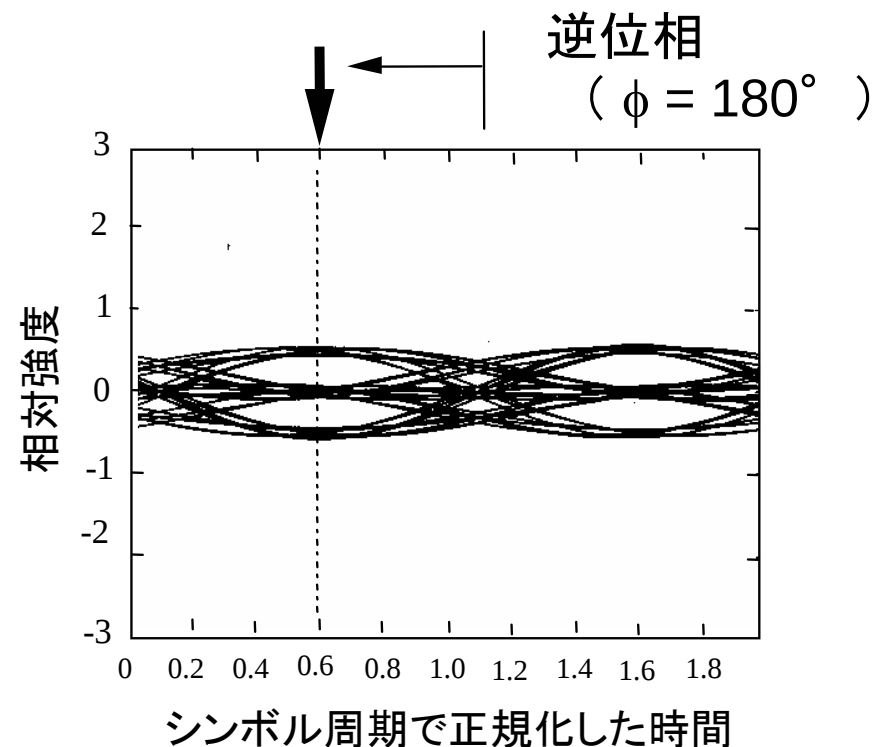
符号間干渉時のアイパターンとサンプルタイミングのずれ

$$|r_1| = |r_2|, \Delta\tau = 0.2T_s$$

サンプルタイミングが
情報の中心と一致



サンプルタイミングが
情報の中心からずれる



サンプルタイミングの問題が誤り発生に大きな影響を与えていること、
を最初に気づき、問題提起をした人： 京都大学池上研究室
(池上先生、吉田先生)

問題認識の原点



BPSKはQPSK変調方式に比べて、符号間干渉誤りに強いはず
(計算機シミュレーションによれば)



しかし実際にフィールド実験をしてみると、BPSKもQPSKと同じように
誤りが発生する。



なぜか？



受信機のクロック再生の動作が怪しい

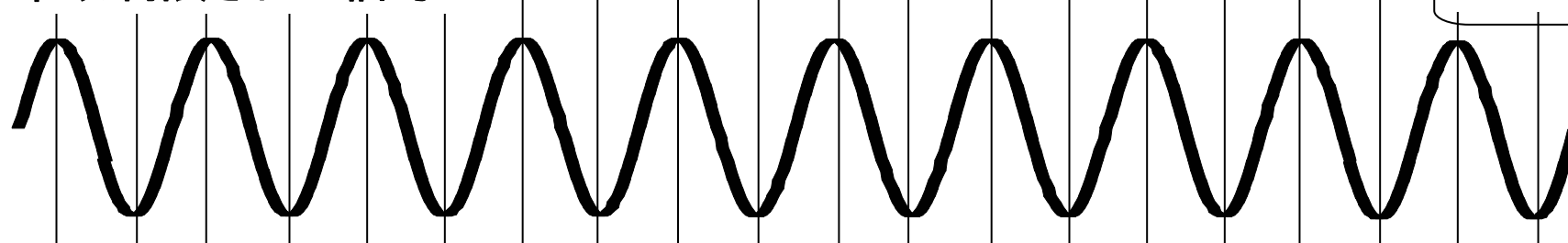


再生クロックのサイクルスリップと判明

送信データ(BPSK)

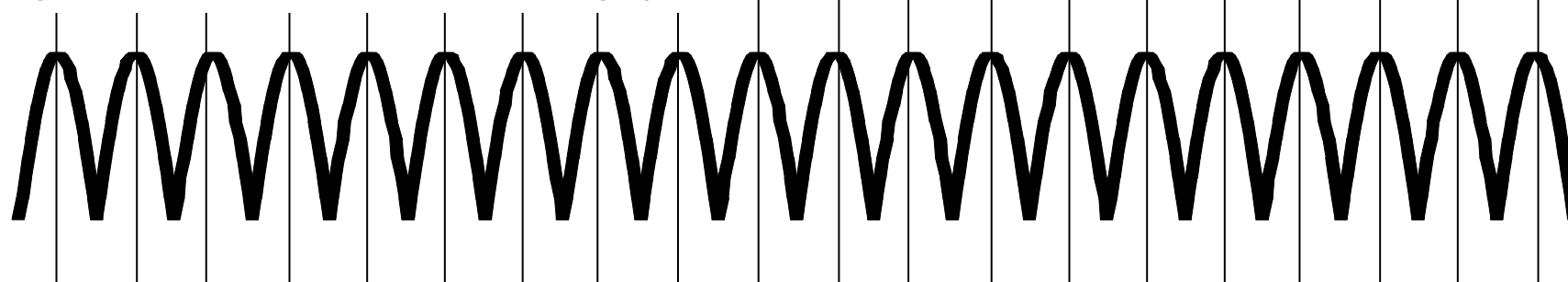
1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0

帯域制限された信号

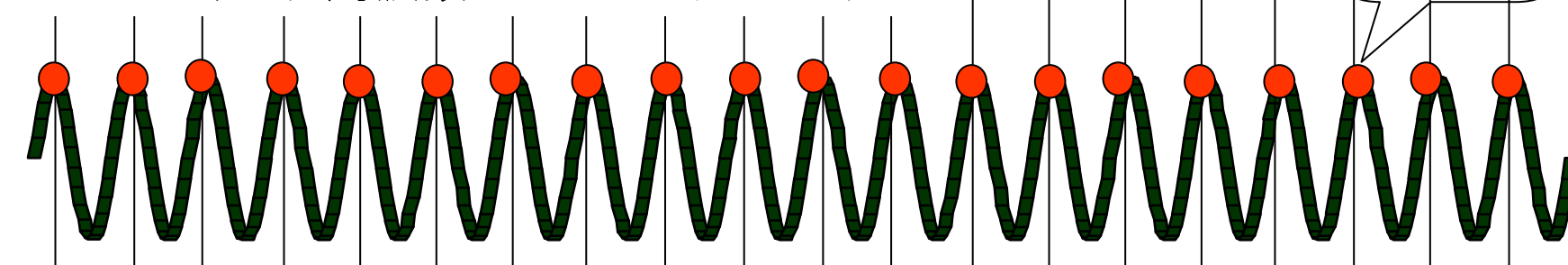


20個ある

帯域制限された信号の包絡線変動



包絡線変動の基本周波数成分抽出(PLL):
サンプリング周波数とサンプルタイミング

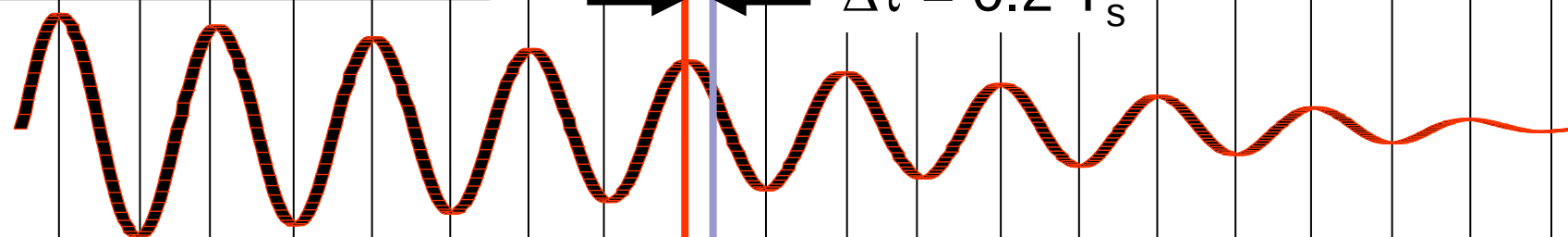


20個ある

送信データ(BPSK)

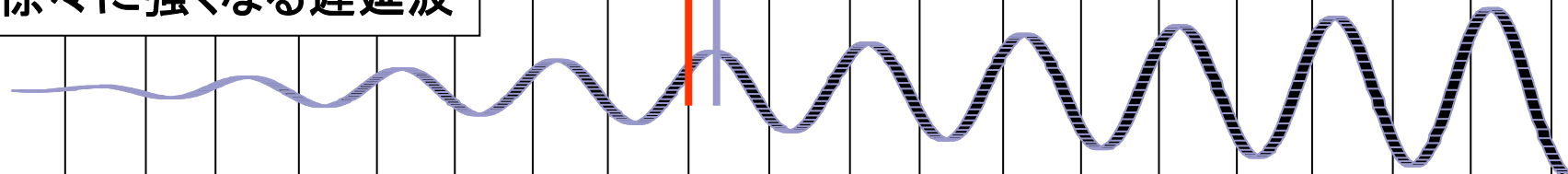
1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0

徐々に弱くなる先行波

 $\Delta\tau = 0.2 T_s$

+

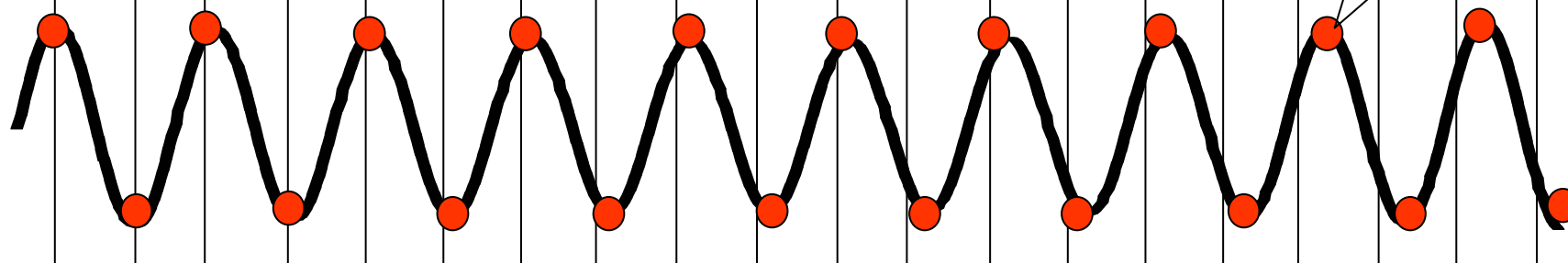
徐々に強くなる遅延波



同位相で合成された信号

||

20個ある

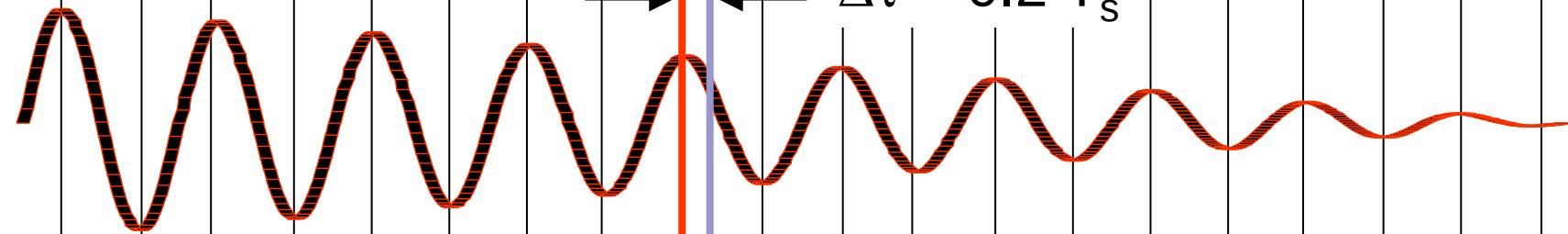




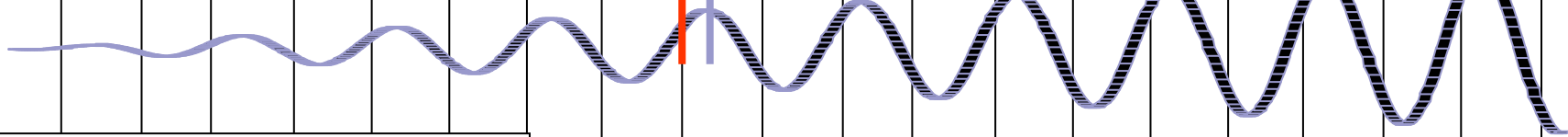
送信データ(BPSK)

1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0

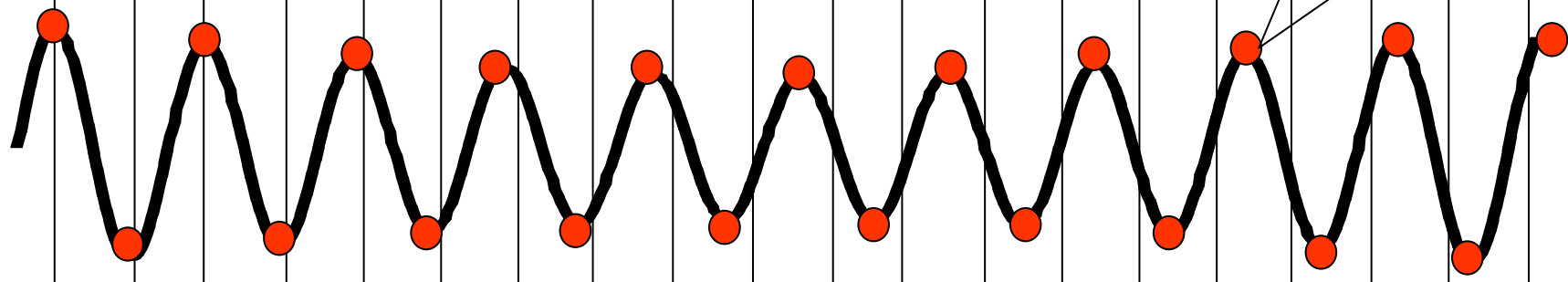
徐々に弱くなる先行波



徐々に強くなる遅延波



逆位相で合成された信号

 $\Delta\tau = 0.2 T_s$

I

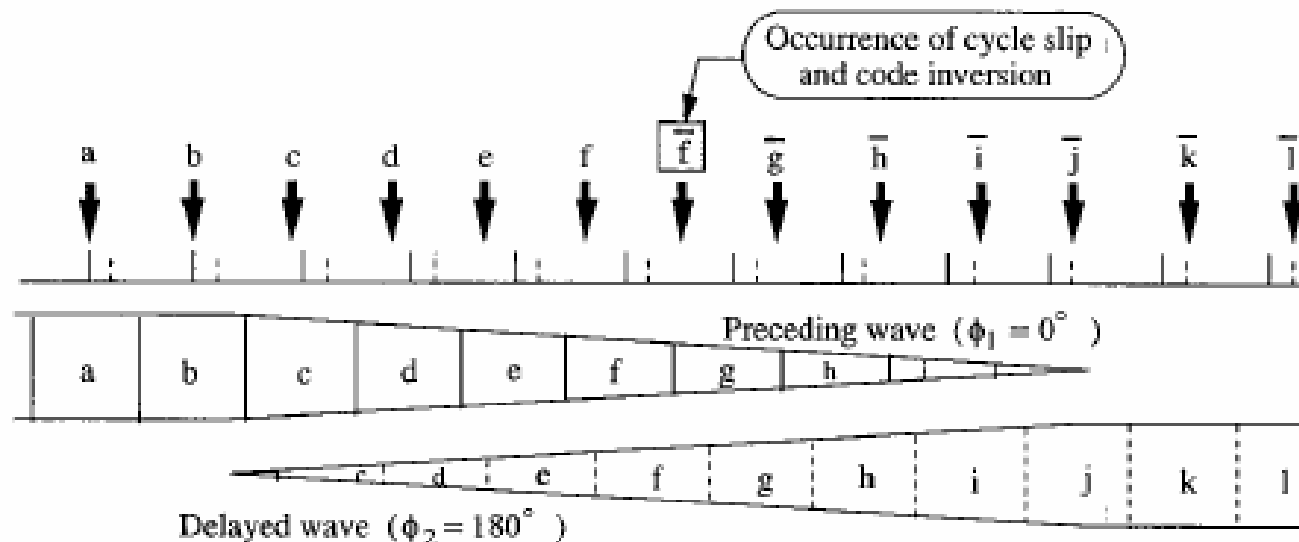
II

21個ある?



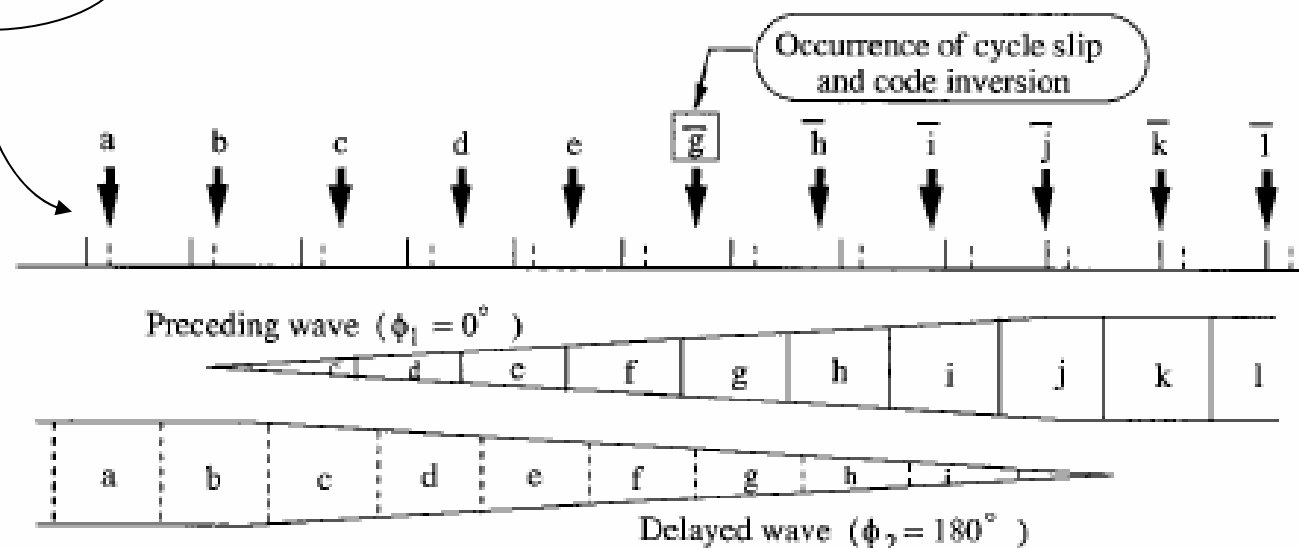
再生クロックのサイクルスリップとは？

受信機のクロック再生回路が、フェージングにだまされて、
再生クロックの位相がデータ周期に対して、
1シンボル以上にわたってずれてゆく現象



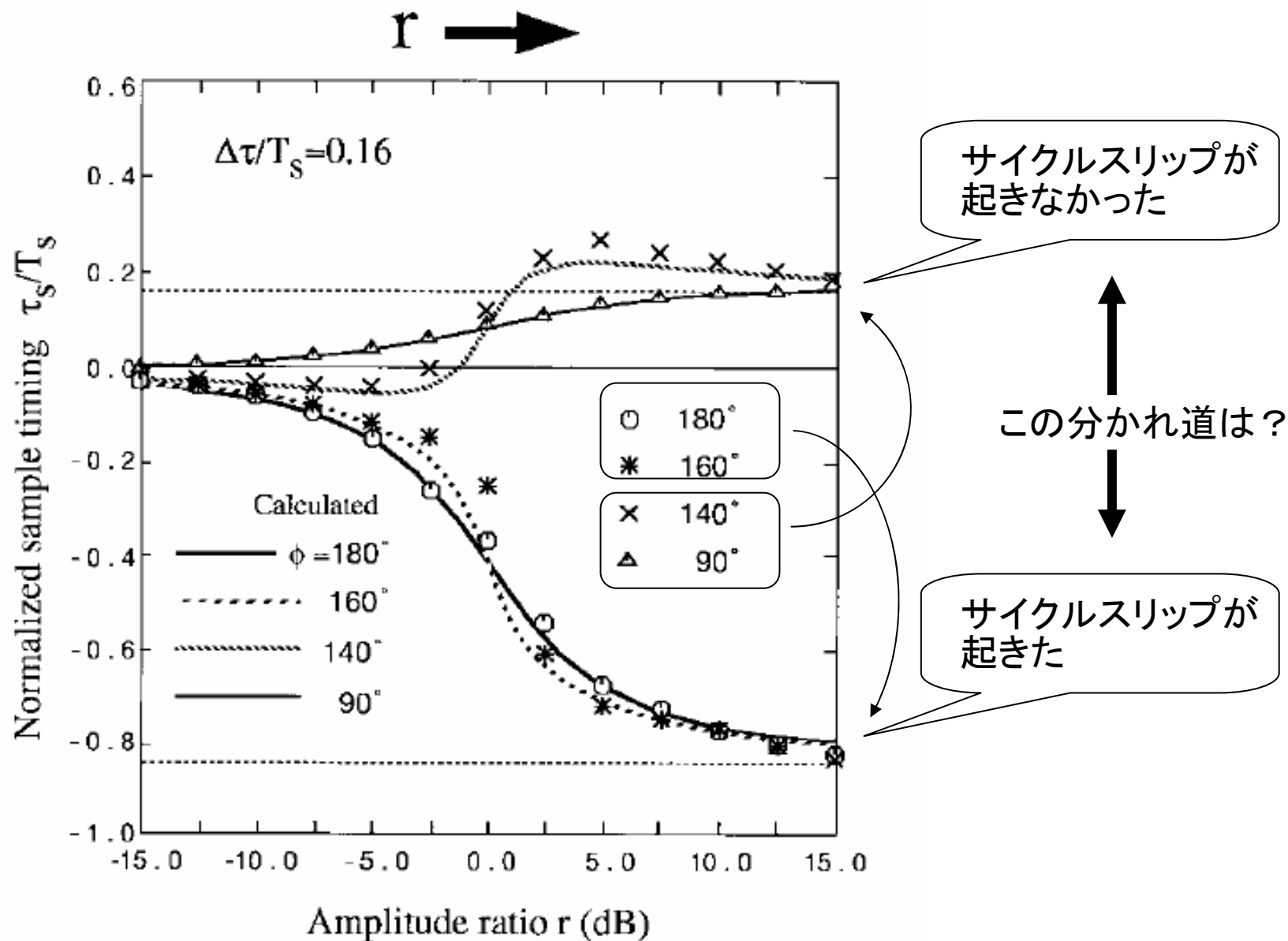
(b) Occurrence of a cycle slip due to double samplings in a symbol

増える場合 と 減る場合



(c) Occurrence of a cycle slip due to missing a sampling in a symbol

サンプルタイミング： 計算値と実測値の比較



理論的解明へのステップ(唐沢、岩井、黒田)→等価伝送路モデル

サンプルタイミング位置

受信機は、狭帯域信号が入力された場合に
最適位置にサンプリングが入るように設計されている



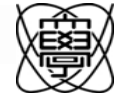
アイパターンのアイの開きが平均的な意味で
最大になるところがサンプルタイミング位置



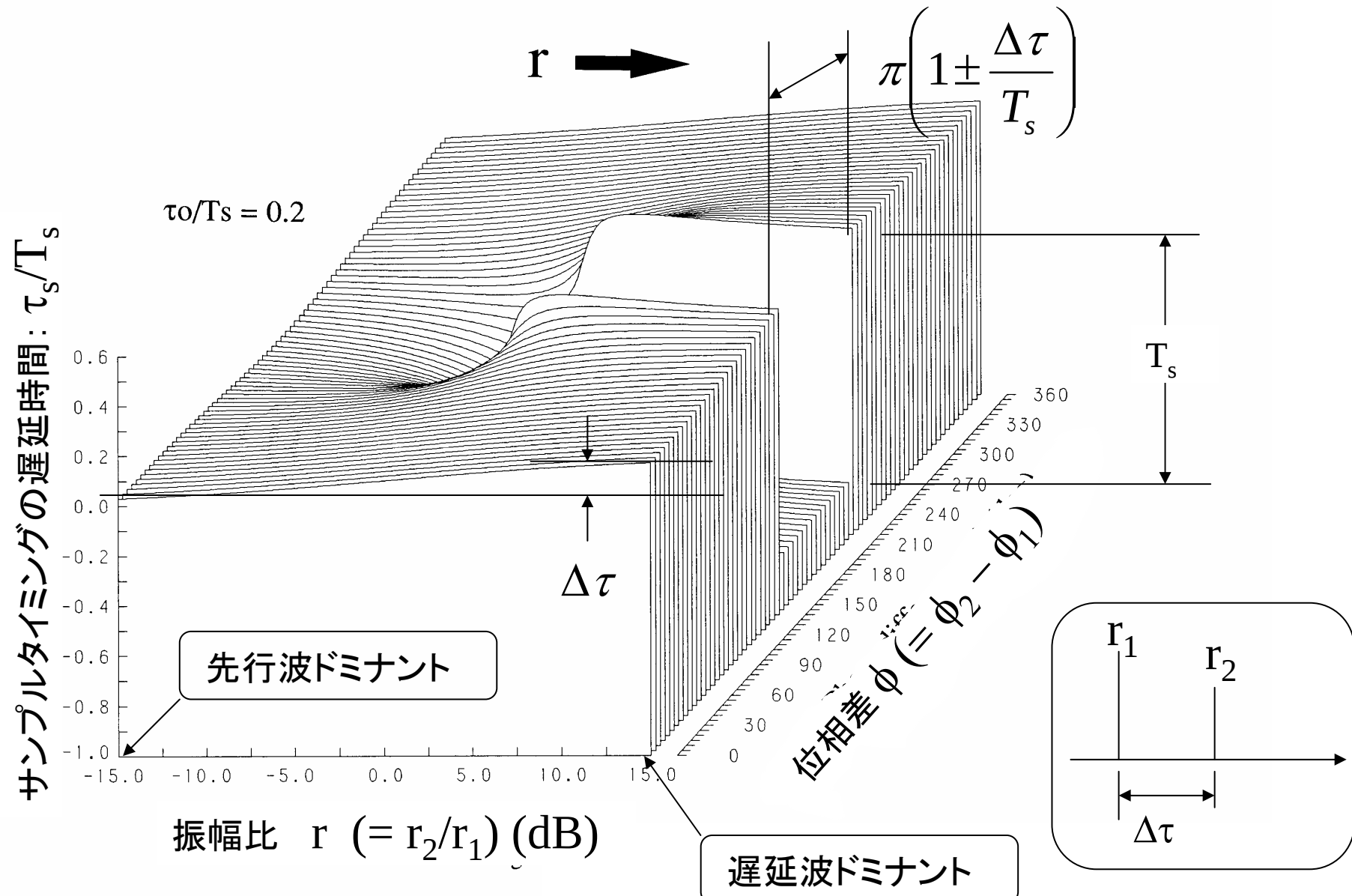
遅延差のある2波が入るとどうなるか？



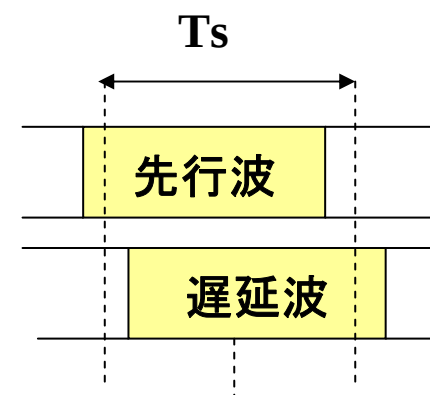
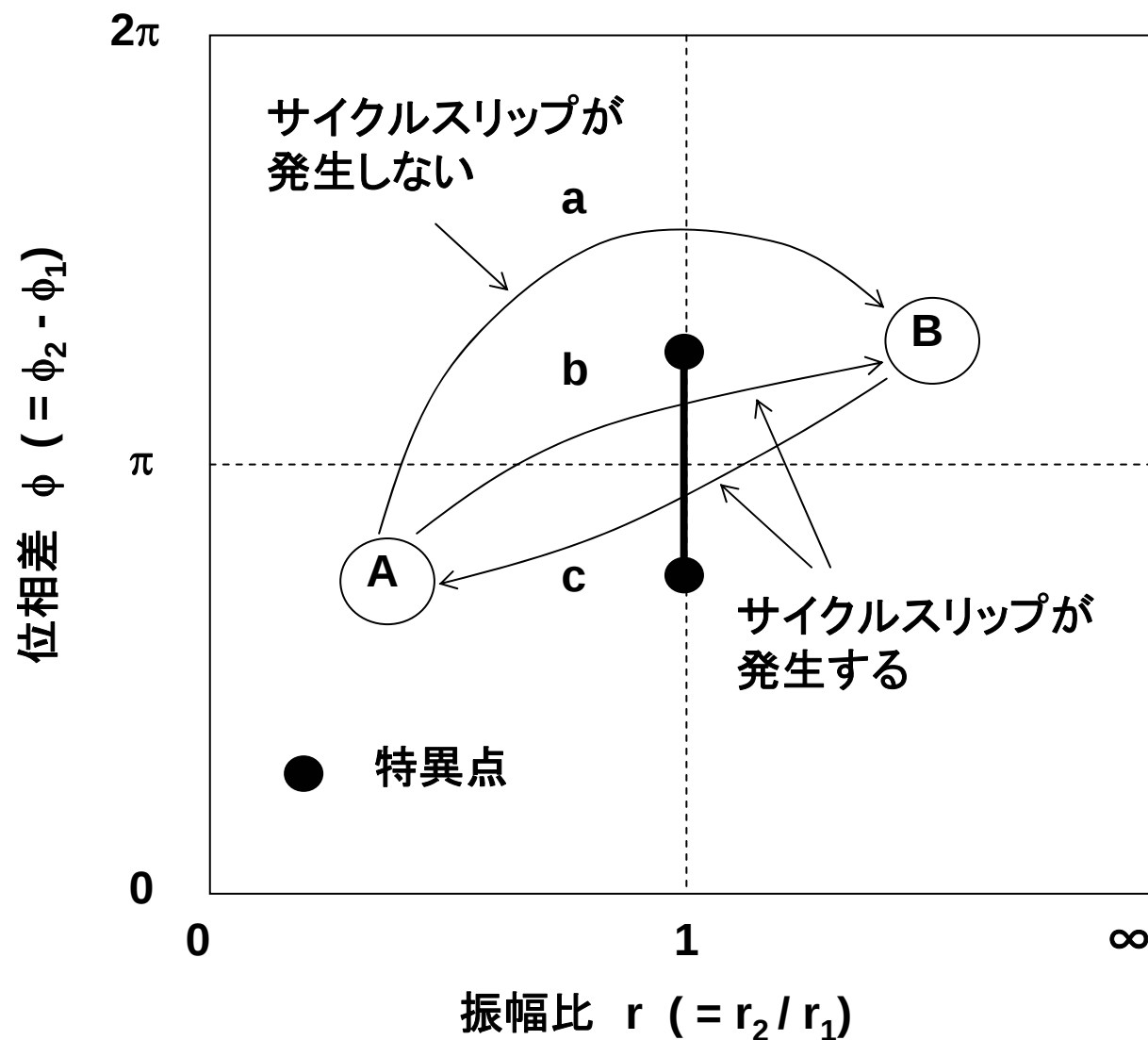
2波モデルなら、そのサンプリング位置は計算で求められる



位相差 ϕ 一定下での振幅比 r の変化に対するサンプルタイミング

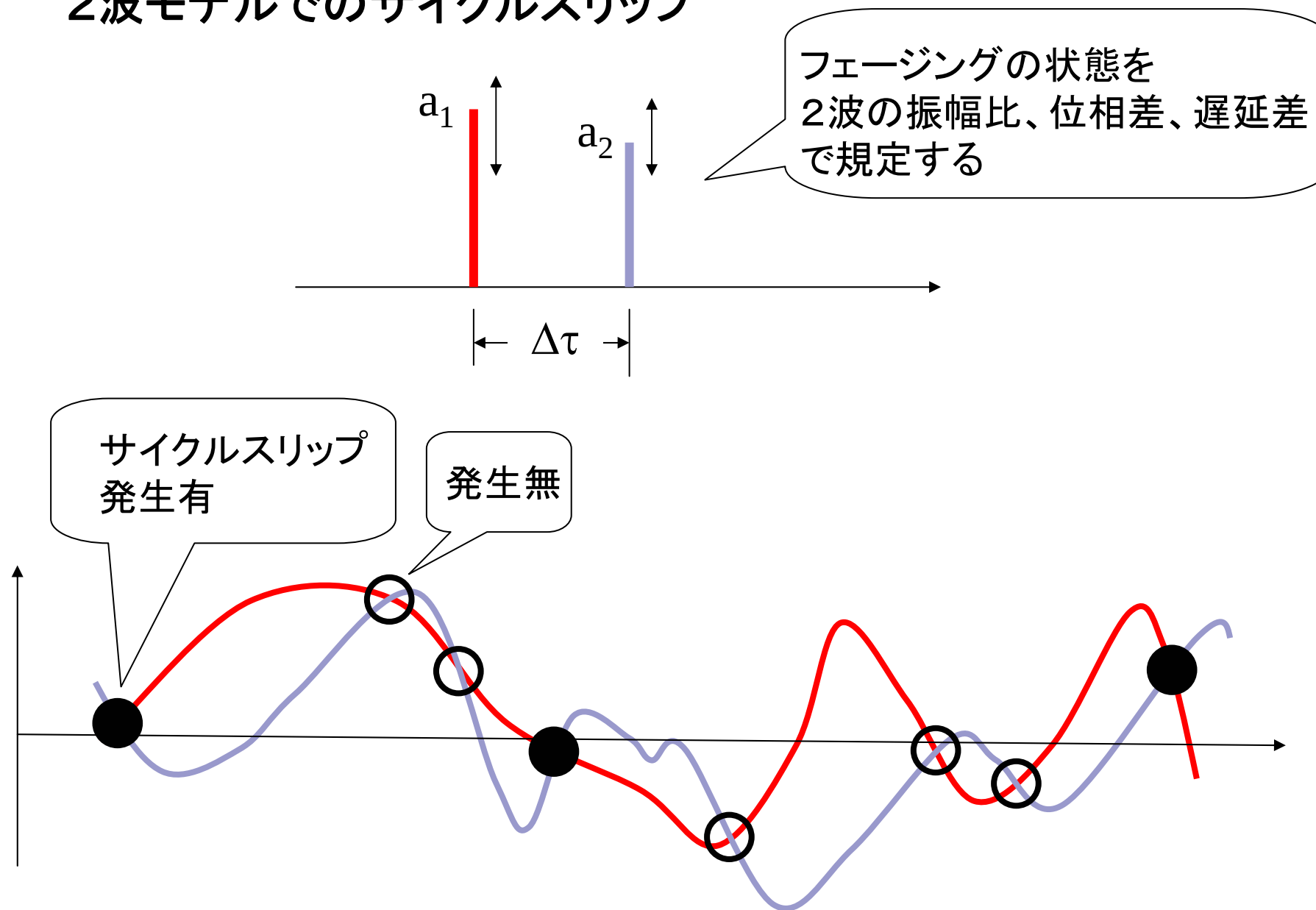


フェージングダイアグラムとサイクルスリップ発生条件



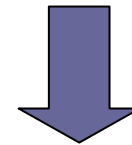


2波モデルでのサイクルスリップ



レベル交差問題の解析には、Rice の理論が適用できる

$$N_{r=1} = 2 \int_0^\infty x' p(x = x_0, x') dx'$$



2波モデルでの
厳密な理論式

$$N_s = \sqrt{2\pi} f_D \frac{1}{T_s} \left[\frac{\sqrt{P_1 P_2}}{P_1 + P_2} \Delta\tau \right] \left(\frac{\Delta\tau}{T_s} < 1 \right)$$

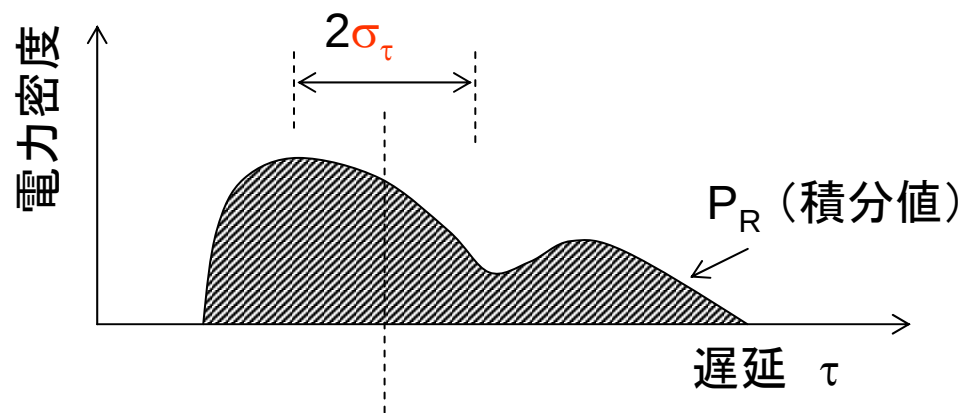
一般的な環境における
推定理論式

一般化

$$N_s = \sqrt{2\pi} f_D \frac{\sigma_\tau}{T_s}$$

= 2波モデルの
遅延スプレッド: σ_τ

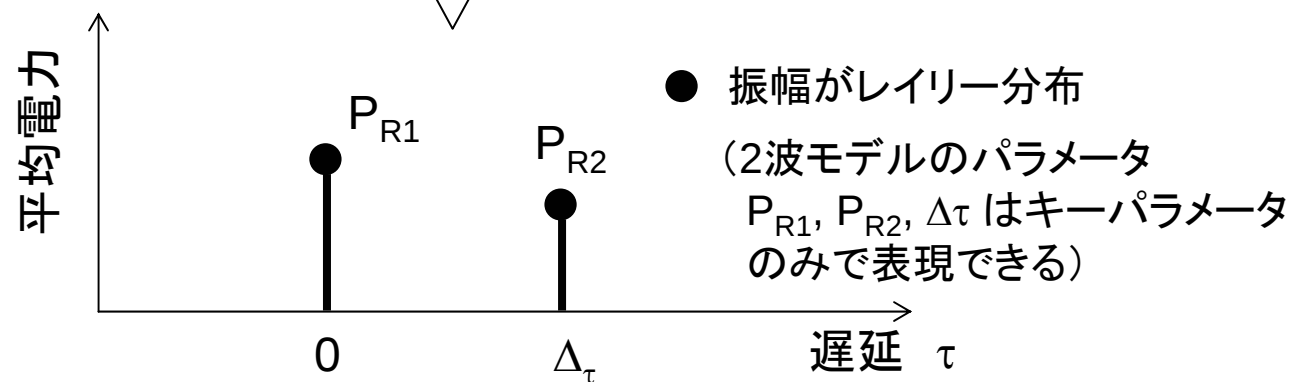
レイリーフェージング環境を表す等価伝送路モデル



(a) 遅延プロファイルとキーパラメータ

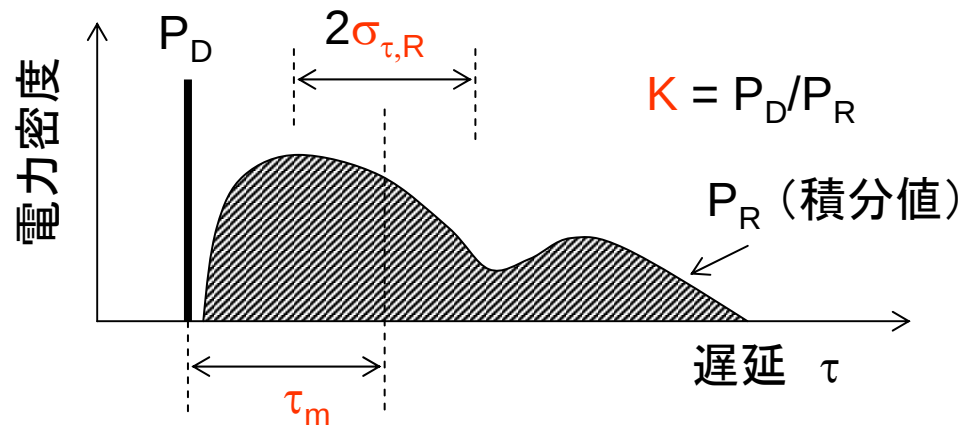


キーパラメータ(=遅延スプレッド)の値を保った等価変換



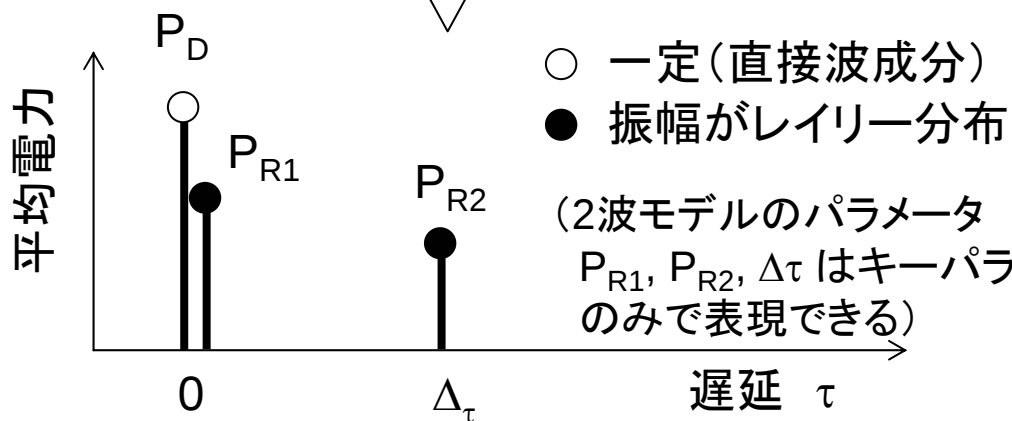
(b) 等価伝送路モデル(統計的環境表現)

仲上・ライスフェージング環境を表す等価伝送路モデル



(a) 遅延プロファイルとキーパラメータ

キーパラメータの値を保った等価変換



(b) 等価伝送路モデル(統計的環境表現)

2波モデルは
キーパラメータから
一意に定まる

$$\Delta\tau = \frac{\sigma_{\tau,R}^2 + \tau_m^2}{\tau_m}$$

$$P_{R1} = \frac{s^2 \sigma_{\tau,R}^2}{\sigma_{\tau,R}^2 + \tau_m^2} P_D$$

$$P_{R2} = \frac{s^2 \tau_m^2}{\sigma_{\tau,R}^2 + \tau_m^2} P_D$$

マルチパス環境におけるサイクルスリップの等価伝送路モデルによる解析

マルチパス伝搬環境

レイリーフェージング
仲上・ライスフェージング

むずかしそう？

理論推定式

サイクルスリップの
発生率

電波伝搬のキーパラメータ

- ・ Kファクタ
- ・ 散乱波平均遅延
- ・ 散乱波遅延スプレッド
- ・ 最大ドップラ周波数

同じもの？

等価伝送路モデル
(2波モデル)パラメータ再置き換えによる
一般化式でのサイクルスリップ
発生率

仲上・ライスフェージング環境下ではサイクルスリップの発生頻度は、**4つのキーパラメータ**で決定される(計算機シミュレーションで確認)

- 1) ライスファクタ: K
- 2) マルチパス波の平均遅延: τ_m
- 3) マルチパス波の遅延スプレッド: $\sigma_{\tau,R}$
- 4) 最大ドップラ周波数: f_D

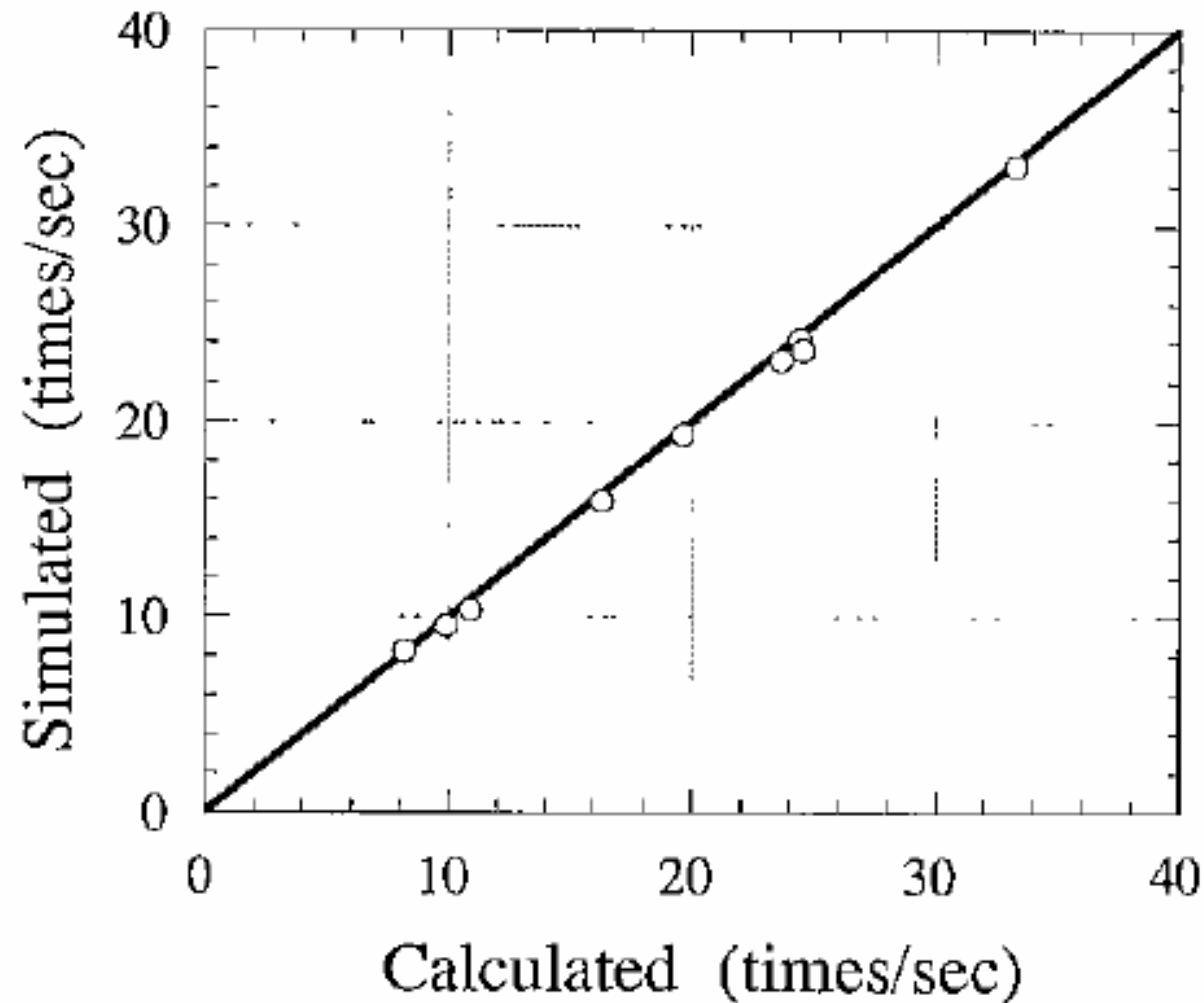
もし、この仮説が正しければこのキーパラメータの値を満たす2波モデルを作ることができ、その場合には、理論式が求まり、それを一般化すると以下の式に

$$N_s = \sqrt{2\pi} f_D \sigma_{\tau,R} \exp\left(-\frac{\sigma_{\tau,R}^2 + \tau_m^2}{\sigma_{\tau,R}^2} K\right) {}_1F_1\left[1.5, 1: K \left(\frac{\tau_m}{\sigma_{\tau,R}}\right)^2\right] \frac{1}{T_s}$$

電波伝搬の性質

通信システムの性質

理論計算値とシミュレーション値の比較



仮説の正しさが実証された → 精度のよい計算式が導かれた

教訓

簡単なモデル(機能を具備する必要最小限のモデル)で
理論式を導いてみる

その理論式の中に見え隠れする一般性に気づく

一般化は大胆に、(砂上でもよいから、楼閣を建ててみよう)



サイクルスリップ物語

研究者になるための必要条件

タフであること
(打たれ強いこと、執念深いこと)

論文査読結果を待つ心境は

この部分の図、講演会限定

Cycle Slip in Clock Recovery on Frequency-Selective Fading Channels

Yoshio Karasawa, *Member, IEEE*, Tomonori Kuroda, and Hisato Iwai

Abstract—The mechanism and fundamental nature of the “cycle slip phenomenon” in clock recovery, which triggers the occurrence of burst-type irreducible errors in frequency-selective fading conditions, are theoretically clarified for PSK transmission systems with a coherent detection scheme. The appropriateness of the theory is identified through measurement by means of a fading simulator and a 64 kb/s QPSK modem. Moreover, a simple formula for predicting the frequency of cycle slip occurrence in Rayleigh-fading environments is developed, the accuracy of which is confirmed by means of computer simulation.

I. INTRODUCTION

MOBILE RADIO systems such as car telephones and hand-held personal terminals have enjoyed a remarkable evolution in their development in recent years. Various new-generation systems incorporating digital transmission technologies have been growing in number. During this time, to design reliable mobile radio systems, it has been vital to have a good understanding of the effects of wave propagation on the quality of digital transmission in a wide variety of mobile radio environments.

Our discussion, here, is on the “cycle slip in clock recovery” which acts as a trigger to the occurrence of burst-type irreducible errors in wide-band digital transmission systems. It is well known that frequency-selective fading causes irreducible

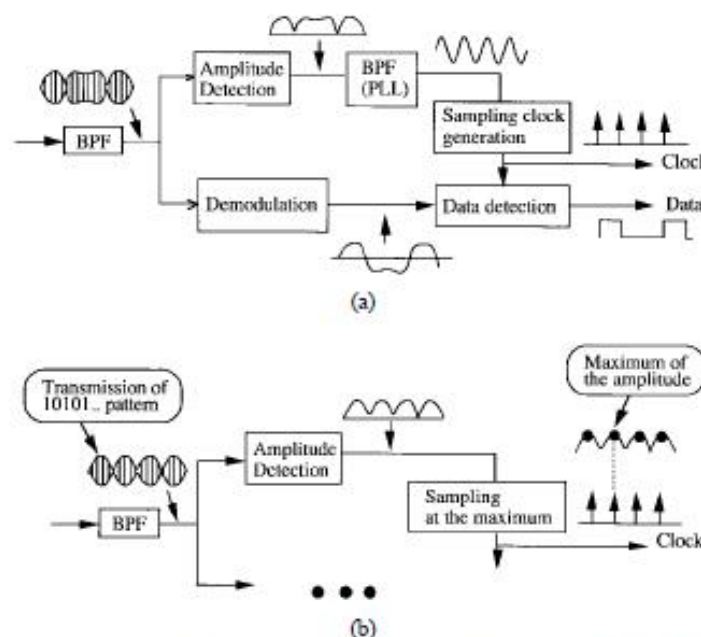
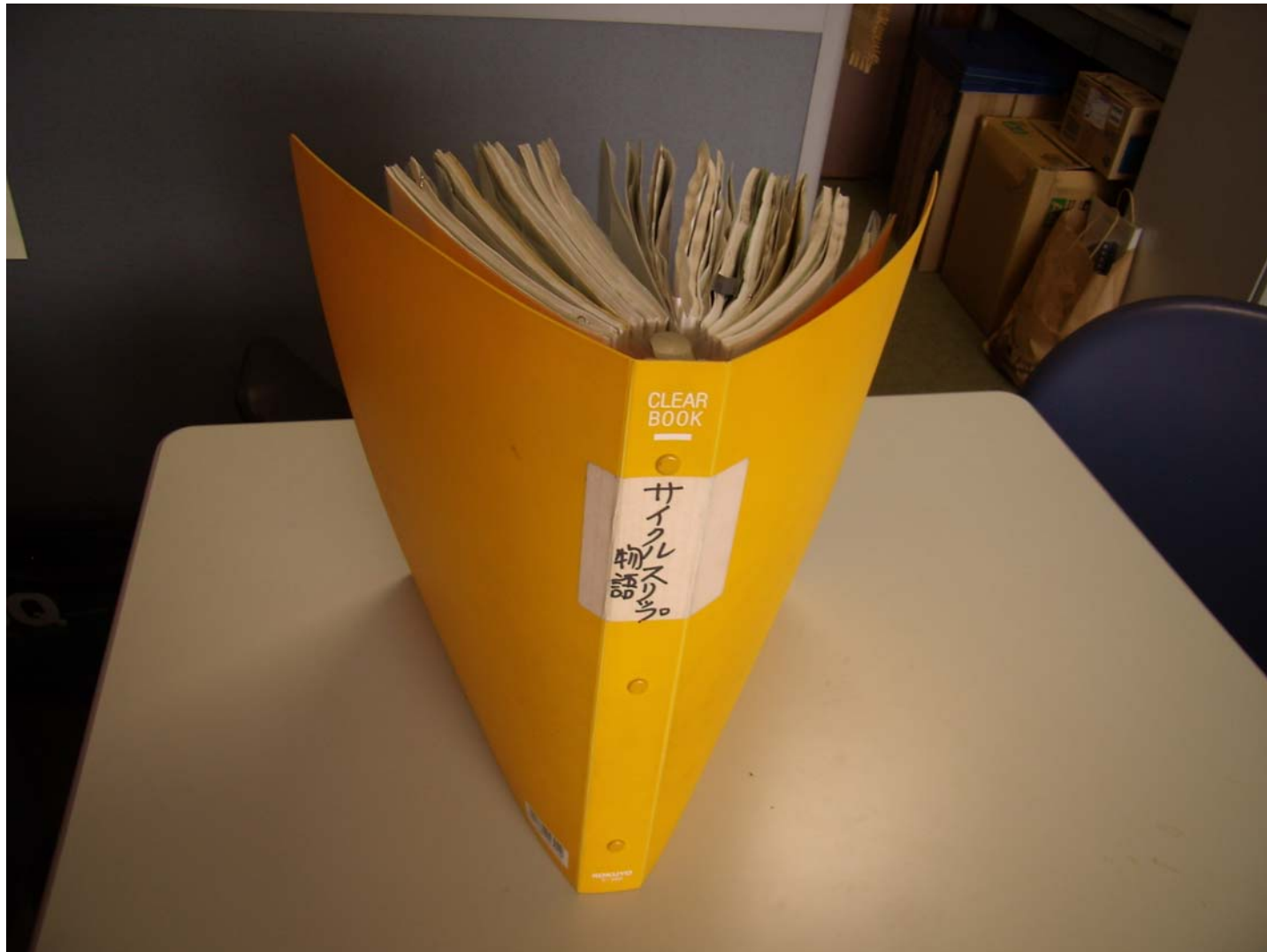


Fig. 1. Clock recovery scheme considered and its assumption for theoretical analysis and computer simulation. (a) Clock recovery and demodulation scheme considered. (b) Assumption on the determination of sample timing for the theoretical approach and computer simulation.



サイクルスリップ物語



Serendipity セレンディピティー

—思いがけない発見・発明のドラマ—

R.M.ロバーツ 著 安藤喬志 訳



化学同人

Serendipity
= Serendip + Ability

偶然に訪れる幸運を捕まえる才能

研究にドラマを生み出す
(アインシュタインでなくても科学者になれる)

セレンディピティは、それが現われた結果が、時として自慢話として語られるが、本質は、誰の中にもある、しかし眠っているかもしれない才能

その才能の磨き方：事例満載の本
(←)から学ぶと良い

幸運は待ち受ける心構えのある人に訪れる(パスツール)



世の中、なかなか、思うとおりには進まない

でも、
幸運は待ち受ける心構えのある人に訪れる
・・・らしい

それだから、人生、結構面白い

すべては縁

*Thank you very much
for your kind attention !*