

# 機械学習を用いた、分娩時期の予測モデル作成に関する研究

Study of making a predictive model for the timing of delivery by machine learning

九州大学医学部 婦人科学産科学教室 助教 中原 一成

## 要約

妊娠37～38週（early term）に出生した児は、妊娠39週以降（full term）に出生した児と比べ、新生児合併症や発達予後が劣ることが報告されている。計画分娩や帝王切開予定の症例では予定外の分娩リスクを下げするためにearly termで分娩となることが多いが、分娩開始時期を適切に予測できれば、産科的介入を遅らせることでfull termまでの延長が可能となり、児の予後改善に寄与する可能性がある。本研究では、妊婦の患者背景情報のみで分娩時期を予測するモデルと、経膈超音波断層法（transvaginal ultrasound: TVUS）の測定値を組み合わせたモデルの予測精度を比較し、TVUSの有用性を検討した。2021年4月～2024年12月に九州大学病院で妊娠36週以上に分娩した症例を後方視的に解析し、母体年齢、経産回数、非妊時BMI、妊娠中の喫煙、既往帝王切開、既往早産、妊娠中の切迫早産などの患者背景情報、およびTVUSで測定した子宮頸管長（cervical length: CL）、子宮後壁との角度（uterocervical angle: UCA）、頸管腺領域（cervical gland area: CGA）のデータを用いて分娩時期予測モデルを構築した。解析の結果、CLが長いほど分娩開始までの日数が長く、UCAが大きいほど日数が短いことが確認された。CGA消失は有意な関連を示さなかった。患者背景情報のみでのモデルではコックス比例ハザードモデルのC-indexが0.567、ランダムサバイバルフォレストのC-indexが0.571と予測精度が低かった。一方、TVUSの有意な指標（CLおよびUCA）を加えたモデルでは、コックス比例ハザードモデルのC-indexが0.724、ランダムサバイバルフォレストのC-indexが0.692となり、予測精度が向上した。本研究より、TVUSの測定値を分娩時期予測モデルに組み込むことで、患者背景情報のみよりも高精度な予測が可能であることが示された。今後は、前向き研究の実施や対象症例の増加に加え、画像データを活用した機械学習の導入によって、より実用的かつ高精度な分娩時期予測モデルの構築を目指す必要がある。

## 諸言

### 1. 背景

妊娠37-41週の正期産期において妊娠37-38週はearly termと区分され、この時期に出生した児は妊娠39週以降出生のfull termの児と比べると、新生児合併症の頻度が高く、発達予後も劣ることが近年報告されている<sup>1,2</sup>。計画分娩を希望する症例や帝王切開分娩が予定されている症例では、予定外の分娩や緊急帝王切開術のリスクを下げるために、妊娠37-38週のearly termに妊娠帰結されることが多い。陣痛発来や破水などの分娩開始時期が適切に予測できれば、予定帝王切開や計画分娩が必要な症例において、産科的介入をfull termまで遅らせることが可能となり、early termの分娩を減らし、新生児合併症の減

少や発達予後の改善に寄与できる可能性がある。

### 2. 先行研究と課題

経膈超音波断層法で測定する子宮頸管長（cervical length: CL）は妊娠20週前後において早産の予測マーカーとして広く用いられているが、正期産期においても分娩時期の予測として用いた報告が存在する<sup>3</sup>。その他に頸管と子宮後壁の為す角度（uterocervical angle: UCA）や頸管腺領域（CGA）の消失が分娩時期との関連を報告されている<sup>4</sup>。これらの指標を用いた分娩時期予測モデルの検討はあまり報告されていない。

### 3. 研究目的

本研究では、年齢や過去の出産歴などの妊産婦の患者背景情報のみで分娩時期を予測するモデルと、

患者背景情報に加えて妊娠36週前後に行った経膈超音波断層法のデータを組み合わせて分娩時期を予測するモデルを作成し、両者の精度を比較することで妊娠36週の経膈超音波断層法の有用性を検討することを目的とした。

## 方法

### 1. 研究デザインと対象

2021年4月から2024年12月までに九州大学病院で妊娠36週以上に分娩した症例について、診療録を用いて後方視的にデータを収集した。

### 2. アウトカムの定義

陣痛発来または前期破水を分娩開始兆候と定義し、その発生日をアウトカム発生日とした。アウトカム発生日は妊娠何日と計算した(例、妊娠40週0日→妊娠280日)。計画分娩や予定帝王切開のために分娩開始兆候を認める前に入院となった症例は、入院となった日でアウトカム未発生のまま打ち切りとした。

### 3. 変数の定義

#### (1) 患者背景情報

母体年齢・経産回数・非妊時BMI・妊娠中の喫煙(能動/受動/なし)・単胎or多胎・既往帝王切開の回数・既往早産の回数・今回の妊娠中の切迫早産の有無をモデル作成のための変数とした。

#### (2) 経膈超音波断層法の指標

妊娠35～37週に経膈超音波断層法で測定した、子宮頸管長(CL)、子宮頸管と後壁の為す角度(UCA)、頸管腺領域(CGA)の消失を変数として使用した。

### 4. 解析方法

データに欠損のある症例および、分娩開始兆候が妊娠36週0日(252日)から妊娠42週0日(294日)に発生しなかった症例は除外した。pythonを使ってこれらのデータを解析して、以下のような検討を行った。

#### ①経膈超音波断層法の各パラメータと分娩開始兆候との関連

前述の患者背景情報の変数を共変量として、CL/UCA/CGAの消失の各パラメータとアウトカム発生日との関連を、多変量線形回帰分析を用いて偏回帰係数と95%信頼区間、p値を求めることで検討した。

#### ②患者背景の情報のみでアウトカム発生日を予測するモデルの作成

患者背景情報のみを用いて予測モデルを作成し

た。予測モデルはコックス比例ハザードモデル、およびランダムサバイバルフォレストの2種類作成した。本研究では、予測モデルの識別能力を評価するためにC-index(一致指数)を使用した。C-indexは、リスクスコアがイベント発生順を適切にランク付けできる割合を示す指標であり、0.5(ランダム予測)から1.0(完全な識別)までの範囲をとるとされる。C-indexを計算し、モデルの精度を検討した。

#### ③経膈超音波断層法のデータを加えた予測モデルの作成

①の検討で有意であった経膈超音波断層法のパラメータと患者背景情報を組み合わせてモデルを作成する。モデルは②と同様にコックス比例ハザードモデルおよびランダムサバイバルフォレストを用いて作成した。予測モデルの識別能力の評価はC-indexを用いて行い、②で作成したモデルとの比較検討を行う。

### 5. 倫理的配慮

本研究は九州大学病院臨床倫理委員会(許可番号24032-00)の承認を得て実施した。インフォームド・コンセントの代替として、研究の趣旨や方法を機関のウェブサイト等で公開し、対象者が参加を拒否できるオプトアウト方式を採用した。本研究による個人情報の保護には十分配慮し、対象者の権利を尊重した。

## 結果

### 1. 解析対象の算定および背景

2021年4月から2024年12月までに当院で妊娠36週以降に分娩した症例は2,468例だった。分娩予定日や

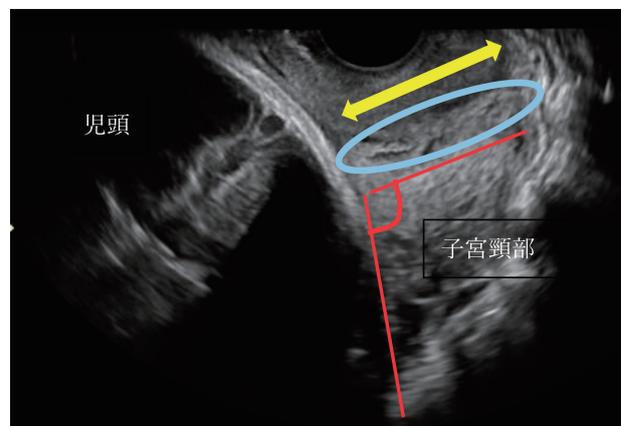


図1 経膈超音波断層法で測定するパラメータ

黄色矢印：子宮頸管長(cervical length: CL)

赤色で示す角度：頸管と子宮後壁の為す角度(uterocervical angle: UCA)

青で示す領域：頸管腺領域(CGA)の有無

入院日の欠測した232例、分娩開始兆候が発生したのが妊娠36週0日（252日）から妊娠42週0日（294日）の間に含まれなかった289例、欠損値を含む320例を除外し、検討に用いたのは1,627例となった。1,627例の患者背景を表1に示す。

## 2. 解析結果

①経膈超音波断層法の各パラメータ（CL・UCA・CGAの消失）と分娩開始兆候との関連  
妊娠35～37週に経膈超音波断層法での計測が行われており、共変量の欠損が無い症例は69例だった。

各項目の偏回帰係数 $\beta$ と95%信頼区間、p値は表2の通りになった。CLが長いほど分娩開始兆候までの日数が有意に長い傾向があり、逆にUCAが大きいほど分娩開始兆候前の日数が有意に短い傾向となった。GCA領域の消失は有意な傾向を示さなかった。

②経膈超音波断層法の所見以外の患者背景の情報のみで分娩開始兆候の妊娠日数を予測するモデルを作成  
母体年齢・経産回数・非妊時BMI・妊娠中の喫煙（能動/受動/なし）・単胎or多胎・既往帝王切開の

表1 症例背景

	Mean or n	SD (%)	Range
母体年齢	33.1	5.6	15 - 49
経産回数	0.8	1.0	0 - 8
非妊時 BMI	22.9	5.2	14.1 - 64.1
妊娠中喫煙	31	(1.9%)	
能動喫煙	62	(3.8%)	
受動喫煙	1534	(94.3%)	
なし			
既往帝王切開			
0回	1293	(79.5%)	
1回	265	(16.3%)	
2回以上	69	(4.2%)	
早産の既往			
0回	1514	(93.1%)	
1回以上	112	(6.9%)	
今回妊娠中の切迫流早産			
なし	1570	(96.5%)	
あり	57	(3.5%)	
胎児数			
単胎妊娠	1549	(95.2%)	
双胎妊娠	78	(4.8%)	
アウトカム			
分娩開始兆候発生時の妊娠日数	269	9.1	252 - 292
入院前に分娩開始兆候発生(アウトカム発生)	907	(55.7%)	
入院までに分娩開始兆候なし(打ち切り)	720	(44.3%)	

表2 経膈超音波断層法における各パラメータの分布と多変量回帰分析の結果

	Mean or n	SD (%)	Range	多変量回帰分析		
				偏回帰係数	95%信頼区間	p値
CL(mm)	33.0	10.5	6.5 - 56.4	0.19	0.01 - 3.77	0.04
UCA(度)	124.5	21.7	23.9 - 166.0	-0.11	-0.21 - -0.02	0.02
GCAの消失				1.63	-2.31 - 5.59	0.41
あり	34	(49.3%)				
なし	35	(50.7%)				

回数・既往早産の回数・今回の妊娠中の切迫早産の有無を特徴量として作成した、分娩開始兆候の妊娠日数を予測するコックス比例ハザードモデルのC-indexは0.567、ランダムサバイバルフォレストのC-indexは0.571だった。患者背景情報のみで作成したモデルでは、十分な予測精度は得られなかった。

### ③経膈超音波断層法のデータを加えて、分娩開始兆候の妊娠日数を予測するモデルを作成

①の検討で有意な関連を認めたCLおよびUCAと、②でモデル作成に使用した患者背景情報より作成したコックス比例ハザードモデルおよびランダムサバイバルフォレストのモデルを作成した。コックス比例ハザードモデル作成の際はモデルを収束させるため、完全分離を避ける目的で早産の既往、低分散のため双胎妊娠と切迫流早産の項目を除外した。コックス比例ハザードモデルのC-indexは0.724、ランダムサバイバルフォレストのC-indexは0.692となり、患者背景情報のみから作成したモデルよりは予測精度が向上した。

## 考 察

今回の検討では既報通り経膈超音波断層法で計測したCLおよびUCAが分娩開始兆候の発生日の妊娠日数と有意に関連した。患者背景情報にCLおよびUCAを加えた分娩開始兆候発生日の予測モデルの精度は、患者背景情報のみのモデルより精度が高くなった。

今回使用した患者背景情報のみで作成した分娩時期予測モデルの精度は低かった。一案として、非妊時BMIを妊娠36週時点のBMIにすることで予測モデルの精度向上は期待できるかもしれないが、患者背景情報のみで高精度の予測は難しい可能性が高い。経膈超音波断層法や内診所見などの子宮頸管の所見を予測モデルに加えることは、精度を上げるためには必須と考えられる。内診は経膈超音波断層法に比べて、患者の痛みを伴うことが多く、検者間誤差など再現性の問題もあるため、経膈超音波断層法によ

る頸管所見の方が、臨床的にも予測モデルの構築にも有用と考えられる。今後、経膈超音波断層法での計測を行った症例数を増やすことで、実用性に足る、より精度が高いモデルの作成を目指していきたい。

また経膈超音波断層法の画像そのものを収集して、分娩時期の予測を行うとする前向き研究も行われており<sup>5</sup>、CLやUCAといった測定値ではなく、画像そのものを機械学習にかけて特徴量を抽出して予測モデルに加えることも今後の方向性として検討される。

本研究の限界として後方視的研究である点、単施設の研究である点、経膈超音波断層法のデータ収集が行えた症例に限られた点が挙げられる。

本研究では、妊娠36週前後における経膈超音波断層法の指標を用いることで、分娩開始兆候の発生日をより高い精度で予測できることを示した。今後は、前向き研究の実施や症例数の増加に加え、画像データを活用した機械学習の導入によって、より実用的かつ高精度な分娩時期予測モデルの構築を目指す必要がある。

## 引用文献

1. Kitamura, T. et al. Short-term outcomes in early term infants (born at 37 or 38 weeks): a retrospective investigation. *Front Pediatr* 12, (2024).
2. Carlhäll, S. et al. Neonatal and maternal outcomes at early vs. full term following induction of labor; A secondary analysis of the OBLIGE randomized trial. *Acta Obstet Gynecol Scand* 103, 955–964 (2024).
3. Miller, E. S. & Grobman, W. A. When to expect when you're expecting: A mystery unsolved by cervical length. *BJOG: An International Journal of Obstetrics and Gynaecology* vol. 123 23 Preprint at <https://doi.org/10.1111/1471-0528.13749> (2016).
4. Zhang, M. et al. Changes of uterocervical angle and cervical length in early and mid-pregnancy and their value in predicting spontaneous preterm birth. *Front Physiol* 15, (2024).
5. Migliorelli, F. et al. Prediction of spontaneous onset of labor at term (PREDICT study): Research protocol. *PLoS One* 17, (2022).

## **Abstract**

**Background:** Infants born at early term (37–38 weeks) have a higher risk of neonatal complications and poorer developmental outcomes than those born at full term ( $\geq 39$  weeks). In cases requiring planned delivery or scheduled cesarean section, delivery often occurs in the early term to reduce the risk of unplanned labor. Accurate prediction of labor onset could help delay obstetric interventions until full term, potentially improving neonatal outcomes. **Objective:** This study aimed to compare the accuracy of a labor onset prediction model using maternal background factors alone with a model incorporating transvaginal ultrasound (TVUS) parameters at around 36 weeks of gestation. **Methods:** A retrospective analysis was conducted on pregnancies delivered at  $\geq 36$  weeks at Kyushu University Hospital from April 2021 to December 2024. Maternal age, parity, pre-pregnancy BMI, smoking status, prior cesarean section, history of preterm birth, and threatened preterm labor were used as predictors. TVUS parameters, including cervical length (CL), uterocervical angle (UCA), and cervical gland area (CGA) disappearance, were also analyzed. **Results:** CL was positively correlated, while UCA was negatively correlated with time to labor onset. CGA disappearance showed no significant association. The predictive model using maternal background alone had a low C-index (0.567–0.571), whereas incorporating TVUS parameters improved the C-index (0.692–0.724). **Conclusion:** TVUS parameters enhance the accuracy of labor onset prediction. Further studies with larger datasets and machine learning approaches are needed to develop a clinically applicable model.