预测　　通过逻辑回归分析社区学院的天文学表现

Zachary Richards纽约市立大学约克学院地球与物理科学系，美国纽约州牙买加市 *Guy R. Brewer* 大道 *94-20* 号，邮编 *11451*；石溪大学 *STEM*教育研究所，美国纽约州石溪市生命科学楼 *092* 室，邮编 *11794-5233*。

Angela M. Kelly[1]石溪大学物理与天文学系和科学、技术、工程和数学教育研究所，*092*生命科学楼，石溪，纽约州 *11794-5233*，美国

本研究考察了一个学生群体在四年期间（2015—2019年）于一所大型郊区社区学院修读天文学课程的学生中，天文学表现的人口统计和学业预测因素。理论框架基于一种用于预测社区学院表现的解构式方法，通过考察学生在高等教育机构中的学业路径，了解他们与院校融入及实现学业目标之间的动态互动。研究采用成绩单数据分析，提取学生人口统计特征、纵向学业课程数据及学业表现。研究建立了一个逻辑回归模型，以识别天文学表现的重要预测因素，其中包括数学成绩、是否修读补习数学，以及是否修读多门天文学课程。结果表明，加强数学准备和提升数学表现，或可改善社区学院学生的天文学学习成果。值得注意的是，在多变量模型中，族裔、社会经济地位、性别和年龄等人口统计变量并非天文学表现的重要预测因素，这表明该课程可能成为拓展科学、技术、工程和数学教育机会多样性的入门途径。此外，以是否修读多门天文学课程衡量的天文学兴趣与学业表现相关。文中还讨论了对实践的进一步启示。

关键词：天文学教育研究；低年级本科生；物理学教育研究；学生准备情况

[1] angela.kelly@stonybrook.edu

I. 引言

社区学院学生是满足美国对多元化且准备充分的科学、技术、工程和数学（STEM）人才队伍需求的一项巨大潜在资源。天文学是许多社区学院学生为满足自然科学通识课程要求而修读的课程。它常被视为一门科学入门课程，因为许多社区学院学生都会修读这门课程，[1], 从而有望培养科学素养和对STEM的兴趣。本研究考察了学术和人口统计变量对社区学院学生天文学表现的预测价值。

关于社区学院学生科学、技术、工程和数学表现的研究，在科学教育研究中一直是一个有限的研究领域。这一点值得关注，因为美国约有50%的本科生在其学术生涯中的某个阶段曾就读于社区学院 [2]。截至2021年，社区学院共有680万名学生，其中约65%为非全日制学生 [3]。由于私营部门对科学、技术、工程和数学领域从业人员的需求很高，尤其是需要副学士学位的工作 [4], ，社区学院学生是一群多元化的人才，可能具备满足这一需求的良好条件。因此，需要研究他们的科学、技术、工程和数学入学及表现，以最大限度地提升他们在科学、技术、工程和数学方面的准备程度与潜力。

本研究选择天文学作为学科研究重点，是因为高等教育中修读这门课程的学生十分普遍：每十名本科生中就有一名，约有25万名学生会在大学期间修读天文学课程 [5]。2011年，社区学院中修读天文学的学生人数（51,000）与四年制院校中修读天文学的学生人数（52,000）大致相同 [1]。非理科专业的学生常修读天文学，以满足毕业所需的通识教育要求；这也可能是本科生唯一一次接受正规科学课程教育的经历 [6-8]。因此，天文学可能有助于培养学生的科学素养，并激发他们对科学的兴趣 [9]。

研究能够预测天文学课程修读和表现的因素，值得一做，这有助于最大限度地提高学生接触科学的机会，并促进他们在社区学院取得整体成功。基于这一理由，我们提出以下研究问题，以确定干预措施的目标：学生的学术课程修读情况、学业表现和人口统计特征，如何预测社区学院天文学入门课程的表现?

本研究考察了美国东北部一所社区学院中=1909 名学生在三年期间的天文学课程修读情况和表现。成绩单分析为学术和人口统计变量提供了路线图，这些变量可能有助于识别社区学院学生结果的预测因素，尤其是在学术先修课程、关键决策点，以及为特定学生群体识别潜在干预措施方面 [10]。本研究采用二分变量逻辑回归，因为研究表明，它是高等教育研究中预测学生二分结果的有效方法 [11-17]。

II. 文献综述

A. 社区学院背景与科学、技术、工程和数学课程修读

研究人员记录了与社区学院学生的科学、技术、工程和数学表现及坚持学习相关的若干学术障碍，尤其是在数学方面。社区学院科学、技术、工程和数学专业的学生往往没有为接受高等教育做好充分准备，因此需要补修数学课程的比例较高

（59%），而四年制院校科学、技术、工程和数学专业学生的这一比例为23% [15]。研究指出，与人口统计变量相比，数学课程修读情况和平均绩点（GPA）更能预测学生是否坚持学习科学、技术、工程和数学专业，以及是否从中流失 [14], ，尽管其他研究对此提出了质疑，并发现人口统计因素是科学、技术、工程和数学结果的常见预测因素 [18- 20]。入读社区学院时修读发展性数学课程的学生，科学、技术、工程和数学流失率较高；数学课程修读情况和表现则能预测科学领域的结果 [13,14,16]。数学通常是科学、技术、工程和数学领域的一道学术门槛，可能会阻碍学生选择科学、技术、工程和数学专业，甚至完成学位 [14,21]。

B. 高等教育中的天文学

数学常被应用于入门天文学课程中，且可能与学生表现有关，尽管尚无证据表明天文学课程的数学严谨程度能够提升学生对天文学概念的理解 [22]。选修天文学课程的学生中，约有 33% 只学完了代数 [6], ，这表明他们的数学基础可能不足以充分理解某些天文学主题。

入门天文学涉及的数学通常包括基础代数，用于求解运动学、动力学和电磁波谱相关问题 [23]。例如，在讨论太阳系天体的运动时，通常会讲解开普勒行星运动定律——具体来说是开普勒第三定律：行星距离太阳越远，完成一次公转所需的时间就越长，

$$p^2 = a^3. \qquad (1)$$

每颗行星的公转周期平方与平均距离立方之比为常数。这里 p表示绕太阳公转一周所需的时间，单位为年；a表示半长轴，即与太阳的距离，单位为天文单位。要解这个方程，学生需要使用平方、立方、平方根和立方根，有时还需要使用换算系数。

学生还可能会接触到牛顿万有引力定律，这是一种平方反比定律，

$$F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}, \qquad (2)$$

其中，F是引力，G是引力常数，m_1 和m_2 是两个物体的质量，r是两个物体质心之间的距离。应用方程 2 时，可能会要求学生考察F与m之间的正比关系， 或F与r之间的反平方关系。在天文学课程中，反平方定律会多次出现，例如在电磁波谱中。讨论光子形式的光时，会用反平方定律描述光强随距光源距离的平方增大而减弱。

就间接关系而言，学生可以利用维恩定律计算黑体的温度：

$$\lambda_{max} = \frac{3 \times 10^6 \text{ nm·K}}{T}. \qquad (3)$$

在这里，学生探究物体的绝对温度与其峰值波长之间的反比关系，λ_{max}。

这些数学关系表明，学生可能会如何在入门天文学中运用基本的数学计算和理解能力。

C. 数学作为预测中学后科学、技术、工程和数学领域表现的指标

发展性数学课程常被认为是一个障碍，阻碍了

在社区学院表现的各项指标上取得成功。只有42%的高中生毕业时具备修读大学水平数学课程所需的技能 [24]。在其余需要注册社区学院发展性数学课程的58%学生中，只有三分之一完成了这些课程[18]。因此，这些学生可能无法注册修读STEM课程所需的大学水平先修数学课程。这也是一个公平问题，因为许多修读发展性数学课程的学生属于低社会经济地位学生，和/或是STEM领域代表性不足的少数群体[25,26]。

修读发展性数学可能会使社区学院学生对转学以及攻读或完成STEM学位望而却步 [12,14,27-29]。一些学生可能会推迟修读必修的发展性数学课程，从而进一步延长获得学位或转学所需的时间 [30]。然而，研究发现，完成整个发展性数学课程序列的学生，其结果与那些入学时已达到大学水平数学程度的学生相似 [31]。

D. 理论框架

本研究的理论框架基于Bahr的解构分析方法，用于预测社区学院学生的学业成果 [21]。该框架认为，学生在高等教育中的学习路径能够揭示他们与学业目标进展之间的动态互动。为此，研究使用成绩单数据，“‘解构’学生从大学入学到达成特定关注结果所经历的不同步骤或阶段” [21, p.145]。研究通过各个阶段考察学生的学业经历，以识别课程修读尝试及其结果。通过这种方式，可以制定潜在的院校干预措施，以提高学业表现并减少流失 [21]。

社区学院的三重使命已被确定为：（1）升学转学，（2）劳动力发展，以及（3）社区教育 [21]。学业成功是攻读四年制学位、达到理想职业的准备度基准以及获得资历证书的必要条件。成绩单为学业决策和表现提供路线图，有助于通过解构分析了解学生如何在学业上融入高等教育机构 [29]。发展性数学课程对于了解学生逐步发展的学业能力尤为重要，因为超过一半的社区学院学生选修这些课程 [20]。升学转学和劳动力市场准备度往往取决于这些课程的学习成效 [21]。

尽管以往研究往往侧重于社区学院学生成果的人口统计学预测因素，但选课情况和以往的学业能力或许能为制定影响学生行为的针对性干预措施提供更有用的见解 [32,33], 。这一点在STEM学科中尤为重要，因为这些职业已被视为传统上服务不足的学生实现社会与经济流动的途径 [34]。解构性分析方法对于理解补习教育路径可能与里程碑、资历证书获得以及转入四年制院校等学业成果有何关联，尤其有用[21]。

解构分析的解释力或可为STEM领域多元化提供洞见。STEM领域多元化已被确定为一项国家优先事项，旨在培养具备STEM素养的公民群体，并最大限度地发挥国家STEM事业的潜力 [35]。社区学院是招募人才进入科学与技术职业的重要人才库 [2]。

III. 方法

A. 背景与数据收集

本研究是一项观察性、非实验性研究[36]，使用了纽约州一所大型公立郊区社区学院2015—2019年学术年度的纵向机构数据。石溪大学机构审查委员会批准了去标识化数据的使用（#2021-00228）。在此期间，该社区学院的在校学生人数约为27,000人。学生群体中男性占46.8%，女性占53.2%；51.8%的学生为全日制学生。按族裔划分，白人占54.7%，西班牙裔占23.8%，亚裔/太平洋岛民占3.8%，非裔美国人占8.0%，美洲原住民占0.3%，其他族裔占9.5%。约32.0%的学生属于传统上在STEM领域代表性不足的少数族裔，包括西班牙裔、非裔美国人和美洲原住民学生（定义依据美国国家科学委员会 [2]）。

2015—2019学年期间，共有2194名学生修读了天文学课程。缺少信息、累计平均绩点或数学平均绩点为零的学生均予以剔除。过滤掉缺失信息后，最终数据集包含1909名学生的成绩单。

在本研究开展所在的社区学院，学生通常会选修天文学课程，以满足通识教育中的科学课程要求。该院校天文学课程的先修课程为代数 I。通常要求天文学专业学生运用基础代数和科学计数法解决简单的天文学问题，并理解数学关系的概念性应用。该院校开设了三门不同的天文学课程，这些课程的难度等级相同，且均为独立课程。学生可以按照任意顺序选修其中任意数量的课程。AST 1 涉及太阳系以及夜空中天体运动的相关主题，AST 2 侧重于恒星、星系和宇宙学相关主题，而 AST 3 则探讨在宇宙中搜寻生命的相关主题。表 I 列出了该院校开设的三门天文学课程所涵盖的主题。

T表 I. 天文学课程先修课程及所涵盖主题的描述

天文学课程	主题
AST 1	1. 历史天文学 2. 天体运动 3. 肉眼天文学 4. 太阳系行星和卫星 5. 小行星和彗星
AST 2	1. 电磁波谱 2. 恒星分类与演化 3. 星系 4. 星际介质 5. 现代宇宙学
AST 3	1. 宇宙尺度 2. 生命的形成与演化 3. 太阳系中的生命潜力 4. 系外行星探测 5. 星际旅行 6. 搜寻地外文明

B. 统计分析

目前，关于社区学院天文学课程表现预测因素的研究很少，甚至几乎没有。本研究考察了人口统计和学业变量，包括性别、族裔、社会经济地位、累计平均绩点以及数学课程修读情况，以预测学生在社区学院天文学课程中的表现。本研究采用统计方法来回答以下研究问题：学生的学业课程修读情况、学业表现及人口统计特征如何预测其在社区学院天文学入门课程中的表现?

逻辑回归量化特定变量对结果产生影响的优势比，并被认为是用于预测和分类的较佳模型之一 [37]。该方法报告结果发生的概率，且不假设预测变量或误差服从正态分布。本研究测量的二元学业结果是：学生是否通过三门天文学课程中的一门或多门，且成绩达到C级或以上。

C. 操作性变量

研究人员分析了学业变量和人口统计变量，将其作为预测天文学表现的因素。人口统计变量包括学生的族裔、性别、年龄和社会经济地位。之所以将人口统计变量纳入模型，是因为先前的研究表明，人口统计特征通常是预测社区学院学生STEM结果的重要因素 [38-40]。学业变量包括学生的成绩、专业（STEM或非STEM）、所修读的数学与科学课程、这些课程的学业成绩，以及全日制与非全日制状态。此外，模型还纳入了学生修读天文学课程的数量，因为研究表明，此前在大学修读过科学课程的学生对科学概念具有更扎实的基础 [41]。变量分为连续变量和二分变量。二分变量编码为0或1。有关变量的详细描述、类型及编码方式，请参见表II。

表II。 学术和人口统计操作性变量

变量名称	说明	变量类别	变量Type
累计平均绩点	该学生在四- 点量表。	学术	连续
就读于发展性的数学	发展性数学课程包括：预- 代数、代数 I、补习数学技能， 数学素养。注册了任意 上述课程的学生被归入发展性 数学类别（是 = 1，否 = 0）。	学术	二分变量
重修数学课程	学生的成绩单显示他们是否重修过 任何数学课程（重修数学课程 = 1，未 重修 = 0）。	学术	二分变量
注册状态	学生注册为全日制还是非全日制 学生（1 = 全日制，0 = 非全日制）。	学术	二分变量
专业	（STEM专业 = 1，非STEM专业 = 0）。	学术	二分变量
族裔	学生的族裔，以及该学生是否属于 STEM领域代表性不足的少数族裔。与 联邦报告中的分类一致，[2], STEM领域代表性不足的少数群体 包括黑人或非裔美国人、 西班牙裔，以及美洲原住民或阿拉斯加	人口统计	二分变量

	本土人。STEM领域非代表性不足的少数群体 包括白人、亚裔，以及报告了两种或 多种族裔的学生（代表性不足的少数群体 = 1，非代表性不足的少数群体 = 0）。		
科学课程修读数量	学生所修读的科学课程数量 选修了天文学以外的课程。	学术	连续
数量数学所修课程	学生所修读的数学课程数量 已注册。	学术	连续
数量 of 天文学课程修读	学生所修读的天文学课程数量 包括 AST 1、AST 2 和/或 AST 3。	学术	连续
科学表现	不包括天文学课程的理科课程平均绩点，按 四分制计算。	学术	连续
数学表现	数学课程平均绩点（四分制）。	学术	连续
性别	学生自我报告的二元性别信息 （男性 = 1，女性 = 0）	人口统计	二分变量
社会经济地位	社会经济地位取决于一个人是否 学生根据其符合佩尔助学金资格的 预期家庭贡献额（是 = 1，否 = 0）。	人口统计	二分变量
Age	生理年龄（岁）	人口统计	连续
天文学表现	该学生的天文学课程期末平均成绩 该院校向学生授予的课程成绩。 分别为 A、B+、B、C+、C、D+、D、F 和 W（ABC = 1、DFW = 0）。	因变量	二分变量

IV. 结果

A. 描述性统计

通过描述性统计分析，对选修天文学课程的社区学院学生的个人特征及其学术表现进行了描述。学生样本的平均年龄为20.0岁。此外，58.1%的天文学专业学生为男性，26.0%符合佩尔助学金的申请资格，80.6%不属于STEM领域代表性不足的少数群体。数据显示，96.0%的学生主修非STEM专业，这表明大多数STEM专业学生并未选修天文学课程。

在数学补习和学习表现方面，28.0%的学生被要求注册某种发展性数学课程，20.1%的学生不得不重修至少一门数学课程。所有天文学学生的平均累计平均绩点为2.81，接近C+ 级的上限。数学平均绩点为2.80，与总体平均绩点一致。

表 III 和表 IV 列出了比较 STEM 专业与非STEM专业学生修读天文学课程时的学业描述性统计数据。这些学业描述性统计数据按 STEM 专业和非STEM专业分组。按专业呈现数据，是为了说明尽管 STEM 和非STEM专业学生都修读天文学课程，但选修天文学课程的学生中，大多数是非STEM专业学生（与 [6] 一致）。修读补习数学的 STEM 专业学生相对较少，但他们的累计平均绩点几乎与非STEM专业学生相同。

表III。按专业分组的学业描述性统计

专业	累计值 GPA	Took 发展性数学	重复 Math	总计
STEM	2.80 ± 0.94	5 (6.5%)	20 (26.3%)	76
非STEM	2.80 ± 0.90	527 (28.8%)	378 (20.6%)	1833

表IV. 按专业分组的人口统计描述性统计

专业	Men	女性	URMS	非代表性不足的少数群体	符合条件的关于佩尔助学金资助	Age (年)	总计
STEM	56（73.7%）	20（26.3%）	43（56.6%）	33（33.4%）	20（26.3%）	20.0 ± 3.0	76
Non-STEM	1053（57.4%）	780 (42.6%)	328 (17.9%)	1505 (82.1%)	477 (26.0%)	20.0 ± 3.0	1833

就天文学课程的学生选课人数而言，1762 名学生只修读了一门天文学课程，122 名学生修读了两门天文学课程，22 名学生修读了三门天文学课程。三门天文学课程各自的表现呈现在表 V，同时，成绩分布见图 1。

表 V. 各天文学课程的选课人数与成绩分布

	ABC	DFW	总计
AST 1	927（70.1%）	395（29.9%）	1,322
AST 2	468 (74.9%)	157 (25.1%)	625
AST 3	87 (79.8%)	22 (20.2%)	109

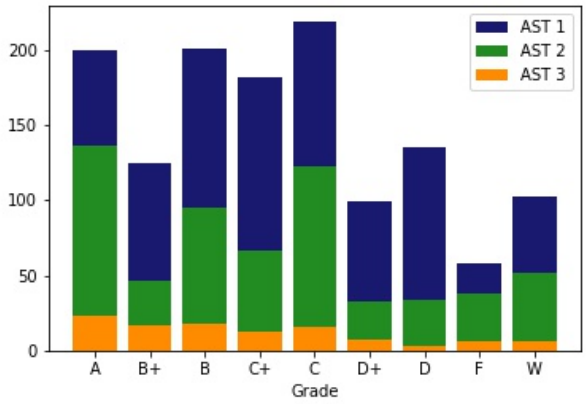


图 1. 天文学课程的成绩分布

B. 自变量选择

为确定天文学表现的重要预测因素，我们计算了 Spearman 相关系数，并将显著变量（p<0.05）纳入多变量模型。表 VI 显示了潜在预测变量与天文学表现之间的相关系数和 p 值。人口统计变量均不是天文学表现的重要预测因素。显著相关的学业预测因素包括：（1）修读的天文学课程数量；（2）除天文学课程外修读的科学课程数量，（3）STEM专业，（4）学生是否修读过发展性数学课程，（5）学生是否重修过数学，（6）数学平均绩点，以及（7）累计平均绩点。我们计算了这些选定变量的方差膨胀因子（VIF），以识别潜在的多重共线性；多重共线性表示预测变量之间存在相关性，可能会混淆模型。累计平均绩点和数学平均绩点的 VIF 超过了容差阈值=5 [42]。由于累计平均绩点的 VIF 较高，且其计算部分基于数学平均绩点，因此将其从多变量模型中剔除。

表 VI。 人口统计和学业变量与天文学表现的相关性

自变量	相关系数（*rs*）	*p* 值
人口统计变量		
性别	0.012	0.613
族裔	0.000	0.993
社会经济地位	0.002	0.915
Age	–0.005	0.841
学业变量		
修读的天文学课程数量*	0.055	0.016
修读的天文学以外的科学课程数量**	–0.072	0.002
修读的数学课程数量	–0.042	0.068
专业（科学、技术、工程和数学或非STEM）**	0.064	0.005
曾修读发展性数学课程***	–0.158	<0.001
重修的数学课程***	–0.179	<0.001
注册状态（全日制/非全日制）	0.033	0.148
数学成绩***	0.225	<0.001
天文学以外课程的科学成绩	–0.025	0.280
累计平均绩点***	0.329	<0.001

*p<0.05；**p<0.01；***p<.001

C. 逻辑回归模型

建立了一个逻辑回归模型，以识别表现预测因素，以及这些预测因素与学生以 C级或以上成绩通过天文学课程的可能性之间的关系。零假设指出，分类表现结果在统计学上与……无关。

显著相关的学业预测因素。Wald卡方统计量是估计值 (b) 与标准误 (*SE*) 的比值的平方，结合相应的 p 值，可反映自变量在模型中的预测价值。

该模型显示，天文学表现有四个显著的学业预测因素，包括：（1）修读的天文学课程数量

、（2）数学成绩表现、（3）学生是否重修数学，以及（4）学生是否修读发展性数学课程。皮尔逊卡方值（$\hat{c}$=144.229，p<0.001）表明逻辑模型具有显著性，正确分类了71.2%的案例；Nagelkerke R^2 为0.104，效应量中等。Hosmer-Lemshow检验表明模型拟合良好（$\hat{c}$=12.117，p=0.146）。

每修读一门天文学课程，学生通过该课程的可能性就会提高 71%。每多获得一个绩点，学生的.....

在数学课程中，学生通过天文学课程的可能性高出 54%。如果学生重修数学课程，那么与未重修数学课程的学生相比，他们在天文学中被归入 DFW类别的可能性高出 33%。选修发展性数学课程的学生通过天文学课程的可能性比未选修发展性数学课程的学生低 43%。值得注意的是，在多变量模型中，STEM专业和所修科学课程的数量均无法预测天文学表现。逻辑回归的统计结果汇总于表 VII。

表 VII。用于天文学表现的逻辑回归模型

自变量	β（标准误）	Wald	Odds 比率 Exp（β）	95% 置信度区间为优势比	*p*-值
专业	0.705（0.365）	3.725	2.024	[0.989, 4.142]	0.054
修读的天文学课程数量**	0.534 (0.201)	7.036	1.705	[1.150, 2.530]	0.008
数学成绩***	0.432 (0.068)	40.726	1.540	[1.349, 1.759]	<0.001
修读的科学课程数量	-0.052（0.043）	1.449	0.950	[0.873, 1.033]	0.229
重复修读数学课程**	-0.400 (0.137)	8.487	0.671	[0.513, 0.877]	0.004
修读发展性数学***	-0.565 (0.113)	25.125	0.568	[0.456, 0.709]	<0.001

**p<0.01; ***p<.001

V. 讨论

本研究结果有助于理解社区学院学生这一科学、技术、工程和数学（STEM）职业人才的重要来源，如何提升天文学表现和科学素养。本研究的首个重要发现是，人口统计变量并非天文学表现的显著预测因素，这与此前关于大学环境中学生结果的研究相矛盾 [18-20]。例如，Bailey 等人 [18] 和 Maxwell 等人 [20] 发现，女性、黑人和西班牙裔社区学院学生修读发展性课程的比例往往高得不成比例。然而，黑人学生不太可能

与白人学生相比，西班牙裔学生完成这一系列课程的进度较慢，而女性比男性更有可能完成这一系列课程（西班牙裔学生之间不存在差异）[18]。Bahr 等人 [43] 还发现，与男性相比，女性更有可能坚持完成社区学院的资历证书课程。另一项研究表明，社区学院中少数族裔学生所占的比例与毕业或转学的可能性呈负相关 [19]。这些研究对不同群体受到差异性影响的原因提出了不同解释，例如，指出传统上在科学、技术、工程和数学领域代表性不足的学生可能面临边缘化的校园环境 [43], 、建立学习共同体的机会有限 [20], , 以及那些具有.....的人可能遭遇倦怠。

较低层级入口 [43]，以及缺乏学术准备 [19]。。研究表明，数学从大学前阶段起就会影响科学、技术、工程和数学领域的学业路径；在这一阶段，表现指标常用于甄别需要接受后续补习的学生。在社区学院阶段，数学课程不及格或重修可能会加重经济负担、延迟毕业、降低学生对STEM学科的兴趣，并加剧STEM流失和社会分层 [12,14,29,46,48]。这被归因于数学技能缺陷、延迟修读补习数学课程，以及大学指导不足 [29,46]。本研究结果表明，数学成绩不佳会对其他STEM学科的表现产生连锁影响——本例中即为天文学。若不在STEM人才管线的多个阶段改善学生的数学学业成就，天文学作为STEM入门途径的潜力或许无法得到充分发挥。

本研究与其他研究结果一致：人口统计变量并非预测大学环境中科学、技术、工程和数学课程表现、毕业及转学表现的重要因素 [14,17,44,45]。社区学院属于开放招生院校，全国就读社区学院的学生中，40%是STEM领域代表性不足的少数群体 [3]。研究表明，完成发展性数学课程的学生与无需修读发展性数学课程的学生相比，学业成功程度相当 [31,46]。由于本研究中的天文学课程（推测其他社区学院也如此）唯一的先修课程是完成发展性数学课程，因此更多学生有机会选择这门科学课程，以满足课程要求。由此，本研究结果表明，社区学院的天文学导论课程或许能让不同族裔和社会经济背景的学生获得更平等的机会。选修社区学院的天文学课程，有望让科学、技术、工程和数学领域向那些原本可能没有此志向或机会的学生敞开大门。

另一项发现是，选修多门天文学课程的学生往往在这些课程中取得更高的成绩。这是一个更为复杂的构念，其潜在因果关系的方向并不明确，因此难以解释。选修不止一门天文学课程的学生可能出于多种原因做出这一选择。学生的兴趣可能与其最初在天文学方面的表现相关；研究表明，优异的表现和概念知识可能会相互促进学生在科学领域的学术自我概念 [48]。这种身份认同可能促使他们选修其他天文学课程。反过来，学生也可能先对天文学产生兴趣，随后在课程学习中投入更多精力，并因这种兴趣而选择继续选修相关课程。无论是哪种情况，入门天文学和物理课程学习中的积极体验，都可能是预测科学、技术、工程和数学入学、兴趣及相关职业意向的关键因素 [49]。

第二项主要发现涉及数学在预测天文学表现方面的作用。修读过发展性数学、重修过数学且数学成绩不佳的学生，在天文学课程中更有可能获得D、F或W。这一发现与相关研究一致：这些研究指出，发展性数学课程修读情况可预测社区学院的科学成绩和STEM流失 [12,14,16,27,47], ；然而，这些研究并未专门考察天文学。

解构分析 [21,31,46] 表明，了解社区学院学生的学业路径，或许有助于深入认识如何改善他们的学习成果

VI. 启示

本研究的结果表明，其对研究和实践具有若干启示。研究学生的学术准备、课程修读情况和学业表现，有助于深入了解如何重新审视发展性数学课程的修读安排，从而改善社区学院天文学学生的学习成果。这类课程以及入学前的数学准备，可能会阻碍学生在学业上的进步，导致毕业、升学转学以及完成四年制大学学位的时间延迟或机会受限。本研究的发现有助于制定有关数学课程修读情况和学业表现的干预措施，以提高科学、技术、工程和数学（STEM）学生及非STEM学生的STEM学业表现和持续学习能力。文中还讨论了与入学前学术准备、天文学推广活动以及学术指导相关的建议。

大学前数学准备可能会影响学生在高等教育阶段的天文学学习成果。研究表明，数学补习和大学衔接项目能够改善数学学习机会不足学生的科学、技术、工程和数学结果 [16,31]。数学是学生持续攻读科学、技术、工程和数学领域的重要门槛，因此在整个培养过程中，应认真考量数学对天文学表现的影响 [13]。

关于天文学兴趣，高中阶段的天文学课程或公共科普活动可能有助于学生在进入社区学院之前形成积极的态度 [50]。参与非正式科学机构的活动有可能激发学生更早地在其学业路径中产生追求天文学的兴趣 [51]。研究表明，高中阶段对天文学的兴趣可能成为学生在大学阶段学习科学、技术、工程和数学领域的一个重要契机 [50]。

为社区学院学生提供正式的学业指导，是改善天文学学习成果的另一项建议。学生可能会受益于学业指导，在第一学期选修发展性数学课程，随后继续修读天文学课程。研究表明，尽早选修发展性数学课程能够提升学业表现并增强持续就学的可能性 [18]。一些社区学院学生可能尚未融入院校的社交环境，因此无法就自己的学业路径做出明智的决定 [52]。如果缺乏“院校工作人员”的充分指导，学生可能会误判自己对补习课程的需求，削弱学业投入，进而使社会分层持续存在 [29,52]。这类指导对那些打算选修天文学课程以满足科学课程要求的学生尤其有益，因为他们可能不了解数学的基础应用。

未来关于社区学院 STEM 课程的研究应侧重于机构因素，而非人口统计因素，因为制定策略以改善可能影响天文学表现的学业预测因素，或许更为有效。机构层面的研究重点之一是发展性数学课程序列，以及该序列如何影响学生在其他 STEM 课程中的表现。

VII. 局限性

本研究探讨了社区学院天文学课程成绩的预测因素。本研究所使用的数据来自纽约州，未纳入其他地理区域的学生数据。因此，研究结果可能无法推广至所有社区学院学生。成绩单分析未考虑课程顺序，也未考察学生是否接受过有关学业路径的指导。对于2019年之后继续注册就读的学生，研究未收集相关数据，这可能限制了对纵向学业模式的分析。此外，天文学教师的教学实践并未

已进行考察；课堂氛围以及数学天文学概念教学方面的差异可能导致研究结果出现偏差。鉴于定量分析的解释能力可能有限，采用目的性样本，对不同背景的社区学院天文学学生开展定性研究，或许能够揭示学生与STEM相关的学业和职业意向。

八、结论

本研究结果表明，数学成绩和修读多门天文学课程可以预测学生在社区学院天文学课程中的表现，这提示院校可设计针对存在数学学习困难的学生的干预措施，以改善天文学学习成果。族裔、性别、年龄和社会经济地位无法预测学生表现，这与一些关于高等教育STEM成果的既有研究相矛盾 [18-20]。这些结果意味着，修读天文学课程或许能够促进科学参与和表现方面的公平。社区学院政策制定者可考虑重新审视数学补习和学业指导，以促进学生在STEM课程中的学业成就。这些发现也表明，还需进一步研究天文学课程注册和学习表现对于提升对STEM的兴趣、影响STEM专业选择以及提高科学素养所起的作用。

致谢

作者谨向Richard Weiner致谢，感谢他协助汇编数据库。同时也感谢匿名审稿人提出富有见地的建议，帮助改进本文。

参考文献

[1] S. White 和 R. Chu，《Physics Enrollments in Two-Year Colleges: Results from the 2012 Survey of Physics in Two-Year Colleges》 (美国物理联合会统计研究中心，马里兰州科利奇帕克，2013年)。 [2] 美国国家科学委员会，《2018年科学与工程指标》 (美国国家科学基金会，弗吉尼亚州亚历山德里亚，2018年)。 [3] 美国社区学院协会，《2021年速览》 (美国社区学院协会，华盛顿特区，2021年)。 https://www.aacc.nche.edu/research-trends/fast-facts/[4] 美国劳工统计局，《STEM人才危机还是STEM人才过剩？两者皆是》 (美国劳工统计局，华盛顿特区，2015 年)。 https://www.bls.gov/opub/mlr/2015/article/stem-crisis-or-stem-surplus-yes-and-yes.htm [5] A. Fraknoi，《天文学101课程注册情况：最新进展》，《天文学教育评论》 **1**, 121 2002( )。 [6] G. Deming 和 B. Hufnagel, 谁在选修 ASTRO 101？《物理教师》**39**，368（2001年）。 [7] W. H. Waller 和 T. F. Slater, 改进美国学院和大学的入门天文学教育：近期进展综述，《地球科学教育杂志》**59**，176（2011年）。 [8] D. Wittman，《在天文学导论课程中塑造科学态度》，《物理教师》**47**，591（2009年）。 [9] M. A. De Leo-Winkler、G. Canalizo 和 G. Wilson，《天体摄影：吸引非STEM专业学生参与科学的入口》，《国际STEM教育杂志》**3** （2016年）。 [10] L. S. Hagedorn，《成绩单分析：了解社区学院学生的学业行为的工具》，《社区学院应用研究杂志》**13,** 45（2005年）。

[11] J. C. Calcagno、P. Crosta、T. Bailey 和 D. Jenkins，《通往学位的垫脚石：入学路径和里程碑对社区学院学生成果的影响》，《高等教育研究》**48**，775（2007年）。[12] R. Cohen 和 A. M. Kelly，《社区学院科学与数学课程修读对毕业、转学和未完成学业的影响》《高等教育评论》**42**，595（2019年）。[13] G. Crisp、A. Nora 和 A. Taggart，《学生特征、大学前因素、大学因素及环境因素：预测主修科学、技术、工程和数学专业并获得STEM学位的因素——对就读于西班牙裔学生服务型院校的学生的分析》，《美国教育研究杂志》**46**，924 2009( )。[14] R. Cohen 和 A. M. Kelly，《数学作为影响社区学院STEM表现、持续就读和学位获得的因素》，《科学教学研究杂志》**57**，279 （2020年）。[15] M. Van Noy 和 M. Zeidenberg，《社区学院通往STEM劳动力的路径：这些路径是什么、谁会选择这些路径，以及如何选择？》，《社区学院新方向》**178**，9（2017年）。[16] L. S. Hagedorn 和 A. V. Purnamasari，《审视STEM的现实及社区学院的作用》，《社区学院评论》**40**，145（2012年）。[17] R. Cohen 和 A. M. Kelly，《社区学院化学课程修读与STEM学业持续性》，《化学教育杂志》**96**，3（2019年）。[18] T. Bailey、D. W. Jeong 和 S.-W. Cho，《社区学院发展性教育课程序列中的转介、注册与完成情况》，《教育经济学评论》**29**，255 2010( )。[19] J. C. Calcagno、T. Bailey、D. Jenkins、G. Kienzl 和 T. Leinbach，《社区学院学生的成功：哪些院校特征会产生影响？》，《教育经济学评论》**27**，632（2008年）。[20] W. Maxwell, L. S. Hagedorn, S. Cypers, H. S. Moon, P. Brocato, K. Wahl, and G. Prather，《城市社区学院中的社区与多样性：新入学学生的课程修读情况》，《社区学院评论》**30**, 21 (2003). [21] P. R. Bahr，《理解社区学院学生学习路径与结果的解构式方法》，《社区学院评论》**41**, 137 (2013年). [22] W. Alexander，《入门天文学大学课堂教学方法评估》。《天文学教育评论》**3**, 178 2004( ). [23] A. Fraknoi, D. Morrison, and S. C. Wolff, 天文学（*OpenStax*）（莱斯大学，休斯敦，得克萨斯州，2018年）。https://assets.openstax.org/oscms-prodcms/media/documents/Astronomy-OP_zItt6LJ.pdf [24] R. H. McCabe，《无人应被浪费：致公共决策者和社区学院领导者的报告》（社区学院出版社，华盛顿特区，2000年）。[25] X. Chen and M. Soldner，《*STEM*流失：大学生进入和离开*STEM*领域的路径。统计分析报告。》 NCES 2014-001.（国家教育统计中心，华盛顿特区，2013年）。[26] K. E. Fong and T. Melguizo，《利用高中学术准备情况的额外衡量指标支持学生进行数学自我评估》，《社区学院研究与实践杂志》**41**, 566 (2017). [27] E. S. Park and F. Ngo，《发展性数学课程对社区学院STEM参与度的影响：因种族、性别、成绩和志向而异》，《教育评估与政策分析》**43**, 108 (2021年). [28] T. Bailey,《重新思考社区学院的发展性教育》（哥伦比亚大学教师学院社区学院研究中心，纽约，纽约州，2009年)。

[29] R. Deil-Amen 和 J. E. Rosenbaum, 《无污名补习的意外后果》, 《社会学教育》 **75**, 249（2002年）。[30] D. S. Fike 和 R. Fike, 《延迟修读发展性数学课程的后果》, 《发展性教育杂志》**35**, 2（2012年）。[31] P. R. Bahr, 《数学补习是否有效? 社区学院学生学术成就的比较分析》, 《高等教育研究》 **49**, 420（2008年）。[32] V. S. Morest 和 T. Bailey, 《机构研究：兼具实用性与重要性》《高等教育纪事报》**52**, B21（2005年）。[33] S. F. Porchea、J. Allen、S. Robbins 和 R. P. Phelps, 《社区学院学生长期入学情况与学位获得结果的预测因素：整合学术、心理社会、社会人口统计和情境因素》, 《高等教育杂志》**81**, 680（2010年）。[34] D. L. Blustein、W. Erby、T. Meerkins、I. Soldz、G. N. Ezema, 《对科学、技术、工程和数学职业发展基本假设的批判性探讨》, 《职业发展杂志》**49,** 471（2022年）。[35] 科学、技术、工程和数学教育委员会, 《规划成功之路：美国科学、技术、工程和数学教育战略》（国家科学技术委员会，华盛顿特区，2018年）。[36] W. Shadish、T. D. Cook 和 D. T. Campbell, 《广义因果推断的实验与准实验设计》（Houghton Mifflin，马萨诸塞州波士顿，2002年）。[37] D. W. Hosmer 和 S. Lemeshow, 《应用逻辑回归》（John Wiley & Sons, Inc.，新泽西州霍博肯，2000年）。[38] S. Huang 和 N. Fang, 《工程动力学课程中学生学业表现的预测：四种预测数学模型的比较》, 《计算机与教育》 **61**, 133（2013年）。[39] W. R. Allen, 《改善黑人学生接受高等教育的机会与学业成就》, 《高等教育评论》**11**，403（1988年）。[40] J. Weissman、C. Bulakowski 和 M. Jumisko, 《白人、黑人和西班牙裔学生转入社区学院的研究》, 《社区学院评论》**26**, 19（1998）。[41] S. R. Buxner、C. D. Impey、J. Romine 和 M. Nieberding, 《连接入门天文学学生的基础科学知识、信念、态度、信息来源与信息素养》, 《物理评论：物理教育研究》 **14**，010142（2018）。[42] D. A. Belsley、E. Kuh 和 R. E. Welsch, 《回归诊断：识别有影响力的数据和共线性来源》（John Wiley & Sons，霍博肯，新泽西州，1980）。[43] P. Bahr, 《减少在科学、技术、工程和数学领域展现潜力的社区学院学生流失》, 《高等教育研究》（2022）。https://doi.org/10.1007/s11162-022-09713-8[44] C. Zabriskie、J. Yang、S. DeVore 和 J. Stewart, 《使用机器学习预测物理课程成绩》, 《物理评论：物理教育研究》 **15**，020120（2019）。[45] J. Yang、S. DeVore、D. Hewagallage、P. Miller、Q. X. Ryan 和 J. Stewart, 《使用机器学习识别物理课程中风险最高的学生》, 《物理评论：物理教育研究》 **16**，020130 （ 2020 ）。[46] P. R. Bahr, 《解构社区学院的补习教育：探讨修课模式、课程结果与补习数学和补习写作课程序列流失之间的关联》, 《高等教育评论》**53**，661（2012）。[47] C. L. Quarles 和 M. Davis, 《发展性数学课程中的学习是否与社区学院的学习成果相关? 》, 《社区学院评论》**45**, 33（2017）。[48] G. Hardy, 《学业自我概念：针对科学的建模与测量》, 《科学教育研究》**44**，549（2014）。[49] 美国国家研究委员会, 《适应变化中的世界：本科物理学的挑战与机遇》

教育（美国国家研究委员会，华盛顿特区，2013年）。[50] Z. Bergstrom、P. Sadler 和 G. Sonnert，《学生天文学职业兴趣的演变与持续性：一项性别研究》，《天文学与地球科学教育杂志》**3**，77（2016年）。[51] A. E. Aquino、A. M. Kelly 和 G. U. Bayne，《共享我们的教师：美国自然历史博物馆为莱曼学院（纽约市立大学）开设的必修研究生课程》，《新教育》**6**，225（2010年）。[52] R. Deil-Amen，《社会与学术整合时刻：重新思考学术与社会职业相关项目中两年制学院学生的融合，《高等教育杂志》**82**，54（2011年）。