

学校选址 对交通和环境的影响



学校选址对通勤和环境的影响
美国环境保护署
EPA231-R-03-004

2003 年 10 月



美国环境保护署
华盛顿 20460

政策、经济和改革办公室

亲爱的读者：

在过去的几十年中，数以千计的学校将会被修建或翻新。对这些学校进行建设和改造的决定非常重要，因为它将对毗邻的居住区产生重要影响。对于做出这些决定，居住区将会面临多重目标的挑战—教育、环境、经济和财政。

有一段时间，出现了一种用大场地来建大学校的趋势。在一些地方，相比于对一所学校进行翻新，出台的政策对新建一所学校更为优惠。一系列的法律法规其要求、评估和标准都在鼓励和要求在一个新的校园建立大学校。一些州的新建学校的资助方案都要比修善一所学校更为优惠；甚至一些州还有最小用地的要求，更容易导致修建大的、新的校园，同时不支持使用现有的小学校。

现在开始认识到使用大的、新的校园可能会对环境以及居住区的生活质量造成负面的影响，许多居住区开始重新评估对现存需求的影响。最近，北卡罗来纳州州长 Mark Sanford 签署了一项法律条文，废除了州对新学校的面积要求，这使得更有可能对现有的学校建筑进行翻新。密尔沃基和威斯康辛也正在使用类似的灵活政策来提出创建“邻里学校”的倡议：新建 6 所学校，再加上现有的 19 所学校和翻新的 15 所学校。在明尼苏达圣保罗，新翻修和扩建的 John A. Johnson 多层学校建筑无缝隙地融入了居住区的服务中，它同时提供了居民活动的额外场地和空间。

这些变化曾现出了一个日益增长的趋势。市民、学校管理者和父母认识到一天中学生待在学校的时间要比家里更多。它们影响着家庭购房的决策和交通类型。它们表现出了创建邻里教育和居民活动中心的基础。

本研究提供了有关学校的位置影响学生如何上学的重要信息。表明了学校的地址和设计能够影响交通拥挤，空气污染和学校交通预算，以及儿童的健康和肥胖。我们希望本研究可以触发对建设高质量的、邻里式的和我们将来所期望的学校进行投资的心声。

诚挚的
Jessica L. Furey
署长助理

致谢

这项工作是由 EPA 政策、经济和改革办公室提供的发展、居住区和环境决策 (DCED) 68-W-99-054 项目合同所资助。DCED 项目组的成员 Amber Levofsky 和 Christopher V. Forinash 管理这个项目。EPA 要感谢马里兰大学的 Reid Ewing 和纽约州大学的 William Greene, 感谢他们对工作的实施和研究的记录所提供的协助。

EPA 要感谢以下成员作为同行审查、研究咨询小组对研究方法和最后报告的起草所做出的评价。

- 加利福尼亚大学伯克利分校的 Robert Cervero 博士
- 大不列颠哥伦比亚大学的 Larry Frank 博士
- 加利福尼亚大学戴维斯分校的 Susan Handy 博士
- ICF 咨询委员会的 Rodney Sams

对于本报告的额外副本的需求, 致电 EPA 环境出版部的全国服务中心: (513) 891- 6561, 以及咨询 EPA 出版序号 231-R-03-004. 对本报告的在线获取, 可以浏览出版部的网页: <http://www.epa.gov/smartgrowth>.

目录

专门总结	6
1 介绍	7
2 学校选址的趋势	9
3 上学出行方式的影响因素	9
4 模型分类和结构	11
4.1 全分类模型	11
4.2 可变结构模型	12
5 数据来源和变量	14
5.1 出行数据	14
5.2 出行时间和距离数据	15
5.3 社会经济数据	16
5.4 学校数据	17
5.5 建成环境数据	17
5.6 数据总结	20
6 预估模型和结果	23
6.1 个体选择集	23
6.2 变量选择	23
6.3 模型参数	24
6.4 出行时间影响	25
6.5 建成环境影响	26
6.6 社会经济影响	26
6.7 省略变量	27
7 环境影响	27
7.1 Gainesville两个样本学校的废气排放	27
7.2 邻里学校的排放模拟	29
8 结论	30
8.1 学校位置和建成环境物质	31
8.2 更多的研究可以帮助居住区更好地理解如何进行工作	31

专门总结

在过去的几十年中，数以千计的学校将会被新建或者翻新。围绕着新建或者翻新的规划决策将会对教育和居住区的生活质量产生重要的影响。

最近学生上学出行方式的变化趋势引起了联邦、州和地方政府的注意。在2001年，5到15岁年龄段的学生中少于15%步行上下学，骑自行车的大约1%。在1969年，48%的学生步行或骑自行车上学。对此，各级政府开展了各种应对的政策和措施。这些包括了州和地方政府开展的“上学安全路线”项目，以及联邦政府的“儿童步行上学”运动。此外，一系列的倡议来帮助学校定位在居住区的中心。本研究对后面的倡议对通勤和环境的影响，以及新建的学校是否位于居住区的中心对学生是否步行或自行车上学进行评估。简而言之，本研究是在探讨学校的选址对学生通勤和环境的影响。

本研究是首次对学校的位置、学校周边的建成环境要素、学生上下学出行方式的选择、以及这些选择对空气污染之间的关系进行实证研究。结果发现：

- 1.住所临近学校的学生，上下学步行或骑自行车所需的时间更短，这使得学生更易选择步行或自行车的通勤方式。
- 2.建成环境影响出行方式。学生出行路程具有高质量的环境更能促进他们选择步行或自行车。
- 3.由于出行方式的差异，学校的选址在一定程度上对空气污染产生了影响。座落在中间地带的学校能够促使学生步行或自行车概率的增加从而减少空气污染。

研究结果建议改善学生步行环境的行动，以及座落在邻里社区学校获得居住区的支持将能够增加学生步行或自行车上下学的比例。增加步行或自行车出行将会减少相关汽车车辆的尾气排放，从而改善环境质量。

1 介绍

美国各地的居住区，在接下来的几十年将会持续招收大量的新学生。数以千计的学校将需要建造或改建以响应所预测增加的学龄儿童。这一预期的学校建造和改建的繁荣期，以及围绕着建造和改建的规划决策，将会对教育、交通、人们健康和环境造成重要的影响。

例如，从某种程度上讲，这种鼓励建设的高潮增加了人们的开车出行，这潜在地对加重了空气污染的问题——即对成人和少年儿童的健康影响。

汽车出行比例的增加导致了不健康的空气。在全国范围内，30%的臭氧前体物：氮氧化物和二氧化碳来自汽车的排放，这一比例在高度依赖汽车的城市区域有所增加。有充分的证据表明了臭氧和其它空气污染物与儿童呼吸道疾病之间的关系，如上呼吸道感染和哮喘。将近有 500 万的美国儿童正承受着哮喘的困扰，每年导致 140 万的儿童面临着上学的问题。在过去的 25 年中，4 岁以下的儿童哮喘的比例增加了 160%，以及 5 到 14 岁的儿童增加了 74%。开车去学校的出行方式会加剧交通拥挤和加剧汽车尾气排放，从而对健康产生影响。根据加利福尼亚 Santa Rosa 地区的城市交通工程师 Gene Benton 估计，在开学期间早上 7:15 到 8:15 这段时间，路上的汽车数量跳跃式的增加了 30%。

然而，强有力的证据表明，减少汽车的使用降低空气污染可以保护孩子们的健康。例如，在 1996 年亚特兰大奥运会期间，当进行交通限制时，周边空气的臭氧含量水平下降了 27.9%，哮喘的急诊量下降了 41.6%。这些结果表明，步行、骑自行车和公共交通替代开车出行将降低车辆行驶的英里数，从而减少相关的污染物。然而，如果将来的学校遵循最近的发展趋势，额外增加的学校可能会加剧这一问题，将显著增加开车前往学校的比例。按照最近公布的“2001 国家家庭出行调查”数据，5 到 15 岁年龄段的学生少于 15% 日常步行上下学，骑自行车的只有 1%⁴。在 1969 年，第 1 次“全国个人交通调查”（前身为 NHTS）中，48% 的学生步行或骑自行车上学。疾病预防控制中心（CDC）的一个调查发现甚至很大比例的住所距离学校很近的学生也不选择步行或自行车上学；5 到 15 岁居住在学校两英里范围内的学生只有 31% 步行或骑自行车上下学。在 1969 年，可以进行对比的数字接近 90%。

¹ Centers for Disease Control and Prevention, National Center for Chronic Disease Prevention and Health Promotion, “Adolescent & School Health”, available at www.cdc.gov/nccdphp/dash/healthtopics/.

² Centers for Disease Control and Prevention, “Surveillance for Asthma—United States, 1960-1995: CDC Surveillance Summaries, April 24, 1998,” *MMWR Morbidity and Mortality Weekly Report*, Vol. 47 (SS-1), 1998, pp. 1-27.

³ Ann Dubay, “See Dick and Jane Sit in Traffic,” *The Press Democrat*, September 7, 2003

⁴ Bureau of Transportation Statistics, National Household Travel Survey, NHTS Version 1.0 CD (Preliminary Release), January 2003.

⁵ This figure applies to students in elementary and intermediate grades, the closest counterparts to the 5-15 age range reported for 2001. Federal Highway Administration (FHWA), “Transportation Characteristics of School Children,” Report No. 4, Nationwide Personal Transportation Study, Washington, D.C., July 1972, derived from Table 1.

⁶ A.M. Dellinger and C.E. Staunton, “Barriers to Children Walking and Bicycling to School—United States, 1999,” *Morbidity and Mortality Weekly*, Vol. 51, No. 32, 2002, pp. 701-704.

为什么学生步行和骑自行车去学校的比例会下降了？根据 CDC 的调查，父母表示距离过长是他们的孩子步行或骑自行车去学校的主要障碍。然而，即使大多数住所距离学校较短的学生出行也通过汽车或巴士，这表明了其它因素也在起作用。本研究的目标之一是阐明它因素是什么。对总体人群而言，一个“可怜的步行环境”是过度依赖汽车相关因素，也很有可能阻止学生步行和骑自行车上学。“可怜的步行环境”是指一个低密度，混合土地利用率低，长条形、不完整的人行道以及包含我们目前发展模式其它特征的建成环境。

许多机构和政府正对步行与骑自行车上学比例做出反应，开始关注他们认为造成这一现象的一些因素，包括了步行环境的质量。许多州和地方政府都推出了“学校安全路线的计划。”领先的加利福尼亚州，对一些旨在对人行道，自行车道，和其它基础设施的改善，从而鼓励更多的孩子步行和骑自行车上学的项目进行资助。一些地方还提供交通警察对学校周边违规行为执法的经费。美国健康和人类服务部和美国 CDC 已经开始启动了“孩子走路到学校”的运动，来抑制儿童肥胖症，糖尿病和哮喘等发生率的上升。

总之，有越来越多提高儿童步行环境的关注，以及对一系列的居住区水平学校的定位效果兴趣的增加，包括学生步行去学校的可行性。然而，步行环境、学校选址和其它因素所可影响出行方式的选择，仍然鲜见。本研究开发了一种上学出行方式的选择模型，试图增加这面的研究文献以及为政策的制定和居住区协商提供参考。

本研究首次对上学出行方式选择，家庭社会经济水平特征，学校规模、建成环境和模型变量之间的关系进行了实证检验。我们希望这项研究能增加对学校选址和设计对学生上学出行的发展趋势关系探讨的相关研究。

选择佛罗里达州和 Gainesville 作为研究区有两个原因：第一，这两个区域进行出行日记调查结合大样本量的路径分析具有可行性；第二，Gainesville 地区建成环境的许多变量特征，具备能够用以解释方式选择的独立变量的可行性。

⁷ FHWA, op. cit.

⁸ Dellinger and Stauton, op. cit.

⁹ Reid Ewing and Robert Cervero, “Travel and the Built Environment,” *Transportation Research Record 1780*, 2001, pp. 87-114.

¹⁰ Transportation Alternatives, *The 2002 Summary of Safe Routes to School Programs in the United States*, New York, available at www.transact.org/PDFs/sr_2002.pdf.

¹¹ National Center for Chronic Disease Prevention and Health Promotion, “KidsWalk-to-School”, available at www.cdc.gov/nccdphp/dnpa/kidswalk/.

2 学校选址的趋势

有一段时间，出现了对学校更大面积和更大选址要求的一种趋势。全国范围内自第二次世界大战以来，学校数量下降了 70%，而平均规模却增长了 5 倍，从 127 人增长到了 653 人。许多州有新建学校建资助方案，相比于对现有学校的翻新，这有利于建设新的学校——这不仅仅在于不允许资金用于革新。州和地方政府所采用的学校最小面积要求意味着学校的面积未能达到这一阈值是不允许的。事实上，在学术成就上取得很大业绩的学校从非常小的用地和非常大的用地均有存在，居住区正在开始对影响教育及社区生活品质需求的“一刀切”的面积标准重新开始评估。

居住区的空气污染、交通拥挤、学校交通预算和儿童的健康和肥胖越来越让人担忧。更广泛地说，居民，学校管理人员，和家长认识到学校可以在居住区中扮演多个角色和影响居住区。学校可以挂靠在邻里，成为学习和居住区的活动中心，影响驱动居民购买住房的决策和交通模式。邻里学校的大小、位置和设计影响着这些角色中的大多数。作为一个结果，州和居住区一直在寻找可替代“一刀切”的方案。比如说：

- 在密尔沃基和威斯康辛也正在使用类似的灵活政策来提出创建邻里学校的倡议——新建 6 所学校，再加上现有的 19 所学校和翻新的 15 所学校。同时增加 75 万平方英尺的学术空间，所有学校保持在适宜步行的邻里社区中，使得现在有更多的学生能够在他们自己的社区里上学。这种新的学校设计方案鼓励居住区使用其图书馆、体育馆、咖啡馆、看护中心、艺术和音乐教室。

- 明尼苏达圣保罗，新翻修和扩建的 John A. Johnson 附属小学呈现出一个紧凑的学术环境，多层学校建筑无缝隙地融入了居住区的服务中，它同时提供了居民活动的额外场地和空间，额外的建筑为将来增加的学生提供了预留。

- 在 2003 年 7 月，北卡罗来纳废除了学校最小面积要求的规定，允许学校的面积有一定的波动，州长 Mark Sanford 表示将会鼓励更多的社区学校。

州和居住区已经在采取行动，但是需要一些定量的研究来帮助它们理解如何改变才能发挥最大的变化。

3 上学出行方式的影响因素

一篇上学出行方式的综述文献发现只有两篇儿童步行/自行车上学与学校选址和设计之间关系的实证研究。在第 1 篇中，Kouri 发现步行去上学的学生百分比，1983 年以前建成的学校是那些 1983 年之后建成学校的 4 倍（年份较长的学校 16% 步行上学 VS 年份较短学校 4% 步行上学）。

¹² Between 1940 and 1990, the number of elementary and secondary schools decreased from 200,000 to 62,000 despite a 70 percent rise in population. Local Government Commission, “Schools”, available at www.lgc.org/transportation/schools.html.

¹³ Allison L. Bruce, “In visit to Moultrie Middle, Sanford signs school acreage bill”, *Charleston Post and Courier*, July 17, 2003.

¹⁴ Christopher Kouri, *Wait for the Bus: How Low Country School Site Selection and Design Deter Walking to School and Contribute to Urban Sprawl*, South Carolina Coastal Conservation League, Duke University – Terry Sanford Institute of Public Policy, 1999.

学校的年份是可以区分学校是否座落在适宜步行的邻里社区是一系列因素中较为可靠的因素，所以本研究的结果相比于做出肯定性结论，更应该是一种建议性的结论。McMillan对城市形态影响学生上学出行的影响进行分析，发现住所距离学校1英里范围内的学生更容易选择步行或骑自行车上学。而那些具有更多的驾驶证，从而有更多开车人的家庭，儿童步行或骑自行车的概率会更少。这些是我们发现影响学生上下学出行方式的主要影响因素。当然重要性其次的友好型步行设计特征比如存在街道树、障碍区和土地混合利用等也会影响交通行为。本研究的不足在于只选择了6所学校，这意味着参与本研究调查的受试者周边的建成环境变异性太小，这些变量的显著性相对应也存在一些不足。

考虑到具体有关上学交通方面的文献量有限，我们查看了一系列有关交通选择、土地利用影响交通选择等文献资料来提供上学出行方式选择研究进展的基础。一系列广泛的文献我们建议进行如下分类。

- 交通方式的出行时间/与距离
- 学校周边以及上学路途中的土地利用密度和多样性
- 学校和上学途中友好型步行环境
- 机动交通的拥有率和可行性
- 家庭收入

只有两篇定量文献可以借鉴，我们也参考了最近有关上学方式选择与测试变量之间定性研究的文献。相比于仅仅单独研究去学校的通勤，本研究将上学交通方式的选择作为学校规模的选址影响结果中的一个方面。小的邻里学校被认为是：

- 建立一个更好的学习环境和培养学生更高的成就
- 促进邻里的凝聚力和自豪感
- 延缓蔓延和保护耕地
- 低成本和对学校校车较低的要求
- 鼓励孩子步行或骑自行车去上学（伴随着健康和其它效益）

这些效益中的最后一条是本研究报告的主题，许多定性研究文献的证据表明，上述提到的5类效益类型与上学的交通方式存在关联。

¹⁵ Tracy E. McMillan, “The Influence of Urban Form on a Child’s Trip to School,” paper presented at the Association of Collegiate Schools of Planning Annual Conference, Baltimore, 2002.

¹⁶ Kouri, op. cit.; Constance E. Beaumont and Elizabeth G. Pianca, *Historic Neighborhood Schools in the Age of Sprawl: Why Johnny Can’t Walk to School*, National Trust for Historic Preservation, Washington, D.C., 2000; Stacy Mitchell, “Jack and the Giant School,” *The New Rules*, Summer 2000; Edward T. McMahon, “School Sprawl,” *Planning Commissioners Journal*, Vol. 39, Summer 2000, pp. 16-18; Sam Passmore, *Education and Smart Growth: Reversing School Sprawl for Better Schools and Communities*, Funders’ Network for Smart Growth and Livable Communities, 2002.

这些主张和变量组合成了对学生测试模式选择的一组变量：

- 学校的规模
- 学校在邻里社区的中心
- 学校在城市区域内的位置
- 学校距离其它活动产生地的距离
- 步行友好型的周边环境

4 模型分类和结构

4.1全分类模型

交通建模经常对选择模式以一个消费选择模型来看待，基于人们在一系列可选模式进行选择观点——诸如去获得工作或具有品牌的冰激淋——来最大化地满足个人的需求或他们的净效益。在决定对A点和B点之间做出选择之后，人们权衡对比交通时间、成本和竞争模式的其它属性。出行者特征（例如收入）也会影响模式的选择。这两个属性集——出行的交互特征和出行者个体特征——用以交通模型中交通模式的选择。

基于土地利用分析的出行行为的研究揭示相同主题中不一致的观点。在出行模型中用大致相同的方式捕获收入以及其它出行者的特征，其重点并不是在路途的交汇处，而是在路途的终端，尤其是起点和终点的特征。因此，那些关注邻里交通设计（TNDS）影响交通模式选择的研究主要集中在密度、土地利用混合度、步行环境和路途起点/终点。然而很多时候，真正决定模式选择的因素的是交通时间和交通成本。

模型的错误分类可能会导致对关系分析解读过大或过小。据统计，遗漏变量的影响可能会使所有模型变量功亏一篑，这意味着模型的构建者最后会夸大或低估交通时间和成本的重要性，用时土地利用研究者最后会对建成环境的重要性做出错误的解释。

在上学通勤的案例中，现有研究建议出行方式的选择可能会额外受到学校位置（或多或少的可接触性）、学校规模和年级水平。因此，一个学校模式选择模型的效用函数将包括：路途特征、出行者、学校、建成环境和每段路途的终端。

4.2 可变结构模型

McFadden开发了多水平的逻辑模型（MNL）来解释在可替代品属性和决策者属性均会影响结果中做出选择的方案。在选择上学的出行方式中，可选模式的属性如交通时间、学生属性以及他们家庭属性如收入，被认为会影响模式的选择。这是一个经典的McFadden的MNL模型的应用。模式选择模型的假设见图1中的结构。

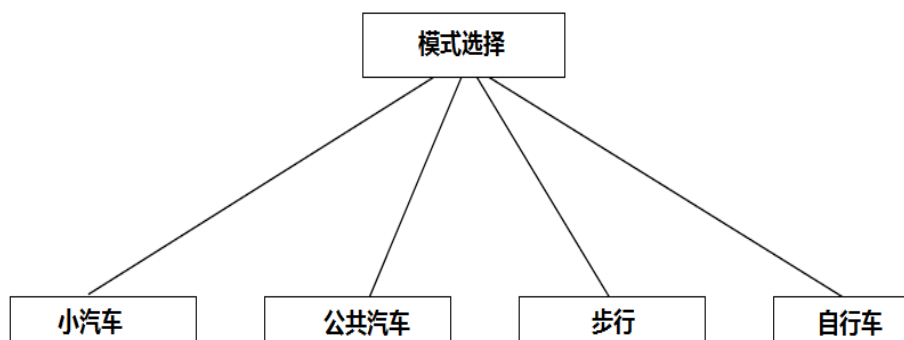


图1 模式选择的多水平逻辑模型

McFadden扩展了他的离散选择模型，包括了那些特定可选项份额的重要性，以及不可预测的性质。在这些案例中，依赖于所建立的MNL，MNL的应用违背了一个基本的假设，称为“无关备选方案的独立性”（IIA）。这导致了奇怪的和错误的离散选择模式预测增大的可能性。

一种嵌套式的逻辑模型结构克服了IIA的问题。图2的结构中有一个较高水平的嵌套是小汽车和非小汽车模式的可选模式，假设在较高水平的嵌套选择了非小汽车的模式，而较低水平的嵌套则有学校巴士、步行和自行车的可选模式。行为的假设是学生或者父母首先选择私人汽车和其它模式，一旦选择了后者，就在其它的三种模式中选择。这种结构可能会出现提升，例如，学校巴士、步行和自行车模式的选择可能会提升父母对儿童安全性的考虑，而这方面顾虑就不会出现在私人汽车。其它的嵌套组合也尽可能会完善，我们将测试所有的组合。

19嵌套逻辑模型是使用全信息最大似然（可能性）（FIML）预估的方法，一旦使用所有的信息，将替代一系列的预估程序单独对较高水平和较低水平的嵌套进行预估。出于这一原因，FIML相比序列预估，给出了更为有效的预估结果。

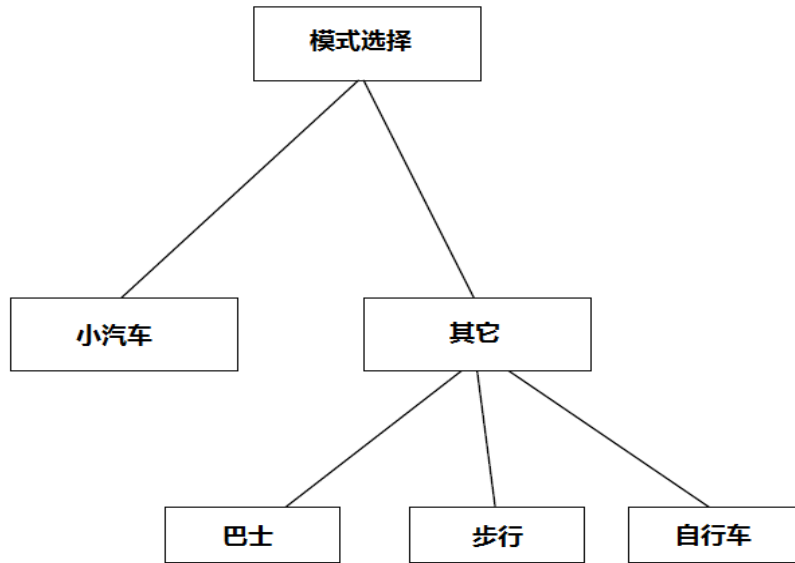


图2 模式选择的嵌套逻辑模型

嵌套逻辑模型的数学形式特征是模型可选项以“包容性水平”²⁰的形式出现。为了使嵌套逻辑模型与一种效用最大化理论相一致，包容性水平的信度系数必须在0和1之间。模型的预估系数不在这一范围之内将与之所基于的理论不一致。认为最为合理的模型结构是上图中的一种，预估的系数为1.14，标准误差为0.24。这一水平与1并没有显著差异，这表明MNL是适宜的，尤其是在缺乏份额不可预测属性的强有力证据。由此我们将MNL作为我们的优先分类方法。

一个较好的上学出行模式选择的多水平逻辑模型所采用的形式为：

$$P_k = \exp(U_k) / [\sum_{l \in K} \exp(U_l)]$$

P_k 是指选择k模式上学的可能性， U_k 是指选择k模式的效用函数，表示方法如下：

$$U_k = \alpha_k + \beta T_k^{ij} + \gamma SE^m + \theta SC^n + \delta BE^i + \omega BE^j + \varepsilon_k$$

T_k^{ij} 和 β 是指路途特征和基于k模式的从i到j的参数向量-----包括了出行时间；

²⁰是指学校巴士、步行和自行车模式份额的不可预测变量，嵌套逻辑模型的包容性值给定为： $I_{nonauto} = \sum \log(e^{U_{bus}} + e^{U_{walk}} + e^{U_{bike}})$

SE^m 和 γ 是指社会经济特征和对应的出行者m的参数向量-----包括经济收入和拥有的车辆数等特征;

SC^n 和 θ 是指招生量等学校特征和对应的学校n的参数向量;

BE^i 和 δ 是指建成环境和起点i、邻里环境i、调查地段、交通分析区域或其它小区域-----向量可能包括了密度、土地混合利用、步行质量和地点设计的测量;

BE^j 和 ω 是指建成环境和对应的目的地j的参数变量;

ϵ_k 是指对于具体模式k的极端值误差向量

给予准确的数据,可以预估出某一个人m,从起点i出行至目的地j,选择k模式前往学校n的可能性。多水平逻辑模型可以捕捉到问题中大多数影响选择一个特定模式前往学校的效用、效益的变量。

5 数据来源和变量

5.1 出行数据

在佛罗里达州立大学的Gainesville本部, Alachua县, 在差不多同一时候进行两个出行日记的调查。第一部分的调查是在2001年上半年期间在Gainesville都市交通委员会(MTPO)的主持下进行。这是一个标准的出行调查,以电话采访开始进行家庭招募和筛选,然后通过电子邮件调查人口社会学信息和出行日记,对调查反馈进行输入并总结、编码和编辑。

第二部分的调查是在2000年下半年期间由佛罗里达交通部实施(FDOT)。与第一部分的调查相比,这次的调查包含了更大的样本量和更高比例的反馈率,它设计了一个调查筛选者对受试者的招募,以及通过邮件的出行日记来调查人口社会学信息。有足够的研究领域和调查背景的重合来确保两个调查的融合,从而产生一个可利用的更大样本量的反馈。

表1 两个调查的样本数据总结。报告的路途有15980条,即那些可以提取和分析的上学路途。

表1 两次Gainesville调查的样本数据

	MPTO调查	FDOT调查
家庭	374	1766
个人	726	3089
行程	3073	12907

在调查中,我们想找出所有的K-12学校行程,并且仅仅想找出K-12学校行程。FDOT包括了两个可选项使得应该更容易达成,一个变量归纳了学生主要的活动类型,另一个则归纳了那些行程中的主要目标行程。假设所有的个人和出行数据都准确报告,通过学生的上下学选择行程,确定上学行程将是一个简单的问题。

影响上学行程确定的几个因素：

(1) 家庭中并不是总是由小孩报告上学行程。在出行日记介绍需要受试家庭报告所有的行程时，仅忽略小孩的行程就是一个让人惊讶的数字。我们在数据库中增加了“虚幻”行程，即家庭成员中的成年人来往学校的行程以及其它三个满足的条件：家庭成员中有16岁以下的成员；成年人在他们的路途中有其他人陪伴，目的地前有人上车，也就意味着他人 在学校下车(或在接下来的行程中增加了人，即意味着去学校接人)。

(2) 填写者不能经常确定他们的主要活动。假如在两类年龄段人群中的第一部分人(在16岁以下)的上下学行程中，他或她假设是一个人在去学校的路途中，这样是否适宜以学生的水平进行报告。

(3) 在去学校路途中的学生不经常在K-12的年龄范围内，这在一个大学城中并不奇怪。假如在交通分析区中一个出行者的路途起点或终点在高等学府的机构，他的行程将从数据库中删除。交通分析区中来往的行程有将近一半在佛罗里达大学的校园，其它的机构如圣达菲社区学院和城市学院的行程也需从数据库中剔除。

相比于FDOT调查，MPTO调查具有出行者和行程的信息更多，但是确定去学校的行程也并不容易。一个确定的变量是学生，另一个填写者的主要活动列表，以及“其它学校”(非学院)是一个可选变量；第三个变量是目标行程列表，即两个相关的学校行程(学校行程和上车/下车行程)；第四和第五个变量是起始地和结束地间的行程列表，以及一些被命名的学校。

影响学校行程确定的一些因素：

(1) 家庭中并不是总是由小孩报告上学行程。出行日记介绍需要受试家庭报告5岁及以上所有成员的行程的同时会忽略一些儿童的行程。当家庭成员中的成年人的路途中有上车/下车目的的人、至少有一个及以上的其他人、前往或来自特定名字的学校，但并不包括在学生记录的行程中，这些“虚幻”行程应加入到数据库中。

(2) 填写者不能经常以学生来描述他们自己，甚至当他们很确定地是一个学生。当以下的两个条件都达到时，填写者将重新归类为学生以及行程重新归类为上学行程：这是那些主要活动为“其它学校”和起点、目的地为K-12学校的人群的行程。

5.2 交通时间和距离数据

分层的交通时间从Gainesville区域交通模型(一种传统的四步交通需求模型)中获取。在该模型形成的交通时间被“撇去”，或把从一个区域到另一个区域的最小交通次数输入到行程的分布中。这种撇去适用于四步过程中的所有交通模式建模，这就意味着是汽车或公共交通，而不适用于步行或自行车，因为这些模式并没有被包括到Gainesville的建模中。

在两个区域中预估步行或自行车的交通时间，我们提取出了区域到区域间高速公路上的最小路径距离，并对每次交通应用定额速度。儿童典型的步行速度我们预估为3英里每小时，而典型的自行车速度我们设置在12英里每小时。

学校巴士的交通时间只能尽最大的努力来确定。我们将需要知道的是家和上车点之间的距离，以及从上车点到学校之间的路途，下车点到学校的路途和下车点到家的距离。我们也需要知道沿途的学校巴士停靠点数量，以及每段路途的平均运行速度。甚至还不清楚相比于父母的便利性和服务的可接受性，交通时间是否是选择学校巴士作为出行模式的敏感因素。

这给出了以下的交通时间变量集：

- 预计从区域间最短路径驾驶汽车交通所需的时间
- 预计从区域间最短路径步行交通所需的时间
- 预计从区域间最短路径骑自行车交通所需的时间

我们假设使用步行或自行车交通所需的时间越长，就越容易选择机动交通，反之所需时间越短就越可能选择步行或自行车交通。而对于学校巴士交通，我们假设从家到学校的距离超过了阈值，这样使得学生需要使用巴士服务时，选择使用学校巴士将不依赖于交通时间。这一设想以当前的数据还无法进行检测，而文献的检索也没有找到覆盖这种或那种观点的证据，这成了将来研究的一个重要议题。

5.3 社会经济数据

由于本研究进行了两种不同的调查，只有当两个调查中等价问题的数据才能被使用。例如，FDOT调查询问了自行车拥有量，而MPTO调查询问了交通当日的降雨量。由于缺乏完整的数据集，这些变量不能够被用于解释上学模式的选择²¹。

这两个调查中叠加的数据为：

- 家庭成员的数量
- 家庭机动交通工具的数量
- 每个家庭成员拥有的机动交通车辆数
- 家庭年收入
- 学生是否拥有驾驶执照，1为是；0为否。

每个家庭成员拥有的机动交通车辆数是两个研究中仅有的能够衡量对汽车需求供给的变量。而汽车的可用性采用每个司机的汽车数或每个符合驾龄的家庭成员拥有的汽车数具有更好的代表性。

²¹尽管FDOT调查日期的天气情况一般可以通过查询天气报告记录获取，但这并不一定适用于Gainesville区域交通的特定时间和地点。

考虑到驾驶证这一变量，可以从两个调查中的学生行程报告中提供。然而，对于没有报告的“虚幻”行程，我们不得不假设这些学生还没有拿到驾驶证。

使用步行、自行车和乘学校巴士的可能性预期会随着汽车可用性、驾驶证的拥有率和家庭年收入的提高而下降。

5.4 学校数据

公立学校的招生数我们将从“Alachua县地区学校管理机构”获得，而对于私立学校则需单独地去练习学校。将通过使用“MAPQUEST”帮助和“Gainesville交通分析区地图”获得学校的地址从而在交通分析区中对学校进行定位。

对于FDOT调查的受试者，严格地对特定学校的上学行程进行匹配。相比于平常的研究中使用交通日记的方法来询问受试者目的地的地址，或临近的街道交叉口，以及对结果进行地理编码。本研究提供受试者一份Alachua县地区的“交通分析区地图”，让受试者自己来确定起点和终点。在受试者的学校中，大约一半的上学行程可以在交通分析区中确定出来，匹配的效果很明显。而对于另外一半的行程，地图的广义属性留给了受试者哪里是起点和终点的大体概念。

他们经常从最近的学校位置涉及1个或2个交通分析区，在这种情况下的配对是基于受试者报告中所更为密切的那一个，以及受试者的年级水平与学校年龄水平的对应关系。

数据集中包含了两个数据元素：

- 学校招生水平
- 是否是高中？1是；0否

使用步行、自行车的可能性预期会随着招生数的增加而下降，也就是学校将会从更大的区域中接收学生。是否在控制上下学的交通时间后这个变量的关系会呈显著性还需要进行探讨。在很大程度上可以确定学校的规模将会对步行或自行车存在额外的负面效果，这是由于如果学校的规模更大意味着会座落在更远的距离，因此这是步行或自行车所不能接受的。不过另一方面来说，即使是更大的招生数，那些年代较老的高级中学座落在城镇的中心，周边的居住密度更大，这方面的问题也就不那么凸显。

5.5 建成环境数据

最后一部分的变量集是有关家和学校周边的建成环境及其它行程的末端。许多土地利用—交通的研究中已经使用了复杂的、多维的方法来表示建成环境。²²然而，据我们所知，Gainesville数据库是目前为止建成环境特征最为完整的数据库，相比于建成环境的定性数据，该数据库更多的是定量数据。

²²参考Ewing和Cervero, op.cit.的调查文献

建成环境的数据能够通过多种渠道获得。在Gainesville市政区域的交通分析区中预估所有的变量。对那些保有最大希望解释步行或自行车行程可用变量的一个子集进行了检验。

从“佛罗里达标准都市交通模型结构”(FSUTMS)中的社会经济数据文件中，Gainesville传统的四步模型提取了如下3个数据要素：

- 总体密度=(居住人口数+就业岗位数)/区域面积

这是测量交通分析区中的总体密度，考虑了无论居住和工作在交通分析区里的总人口数和区域面积的比。当个体使用的土地量未知的时候可以结合使用密度的测量，如在Gainesville的交通分析区。

- 就业—居住平衡指数= $1 - [ABS(就业岗位数 - a \times 居住人口数) / (就业岗位数 + a \times 居住人口数)]$

这是测量在交通分析区水平的居住和就业之间土地利用平衡性。ABS是指括号中表达式的绝对值。a是区域的居民数和就业岗位数的比。当这个变量的值假设为1时，意味着该区域内的居民数和就业岗位数相等，而为0时意味着只有居民或就业岗位，但并不是两者都没。它假设中间值表示区域中居民进而就业岗位都存在，但其中一个占主导地位。

- 就业混合度= $1 - [商业就业岗位数 \times LN(商业就业岗位数) + 工业就业岗位数 \times LN(工业就业岗位数) + 服务业就业岗位数 \times LN(服务业就业岗位数)] / LN(3)$

这是测量在交通分析区水平的土地混合利用度。LN是指括号中表达式的自然对数。土地利用混合度的值从0到1之间，0意味着给定的所有就业岗位数都集中在一个类型，1是指(FSUTMS)数据库中的数据3种类型的就业岗位数平均分布。这种函数形式通常称为熵变量。

对于商业地产，从“房地产估价员”数据库（在该县的地理信息系统的包裹层）中提取以下土地利用强度变量：

- 商业FAR=商业楼层面积/(43560×商业用地面积)

常数43560是在划分楼层的平方英尺数，产生楼层面积比时将土地的英亩数转化为平方英尺。计算中只考虑那些步行导向的商业用地，特别是零售用地、金融、保险、房地产公司、一般办公楼和商业住房。

从该县的“自行车和步行者服务数据库”(LOS)提取以下数据要素：

- 有自行车道或林荫道铺设的街道英里数比例
- 街道中的人行道英里数比例
- 平均人行道宽度

这些变量仅可用于主干道或分枝的街道。

从该县的地理信息系统（GIS）中提取：

- 街道密度=每平方英里的中心街道英里数

这变量是测量街道网络密度，包括当地的街道、主干道和分枝的街道

表征一个交通分析区位置在更大区域内的特征的是区域的可达性指标。传统的四步模型如Gainesville模型输入行程分布后自动生成区域可达性指标。区域可达性指标，表现为传统引力模型的分母，是通过每一个目标区域的目标行程的数量乘以与从一个行程产生区域到目标区域的交通时间负相关的“摩擦系数”计算所得，最后求所有目标区域计算结果的和。附近的目标区域越多，产生区域的可达性指数也就越高。

$$acce_{ip} = \sum_{j \in attr_{jp}} ff_{ijp}$$

$acce_{ip}$ 是指区域*i*到目的地*p*行程的可达性指数， $attr_{jp}$ 是指区域*j*中对于特定行程目的的目标行程数， ff_{ijp} 区域*i*到区域*j*行程的区间摩擦系数。可达性指标可用于Gainesville模型的五个主要出行目的，其中两个是基于出行吸引力的广泛测量：

- 基于家庭其它出行的可达性指数（包括了前往学校的行程）
- 非基于家庭出行的可达性指数

可达性指标全都通过取得分的绝对值归一化为0到1的量表，最高值用以全部的城市化区域。

建成环境的一些变量特征与其它变量高度相关。多重共线性的问题通过对全部的变量集进行主成分分析法解决，然后对第1主成分中权重载荷最重的五个变量进行再次的运算。在第二步的运算中，主成分即五个变量获得的最大方差贡献率用于“步行友好型”环境的总体测量。从该成分的因子载荷上看该成分代表步行友好型环境是显著的（见表2）。它与总体密度、商业FAR、人行道覆盖、人行道宽度和街道网络密度高度相关。步行友好型因子，五个变量组合的权重解释了数据集60%的总方差，与三个基础变量的组合等效。由于这个成分捕获的是组合变量的主体方差，没有额外的方差被考虑在内。

表2 步行友好型因子载荷

变量	载荷
总体密度	0.719
商业FAR	0.604
人行道覆盖	0.839
平均人行道宽度	0.825
街道网络密度	0.851
特征值	2.99
方差解释	60%

参考土地利用-交通的文献，我们预估步行或者是自行车的出行可能性会随着本章节界定的所有建成环境的改善而有所增加。

5.6数据总结

原始的数据集中包含了交通分析区中已知的819个K-12学校行程的起点和终点。舍弃的样本中，有4人是因为交通模式为公共汽车，而另外7人的交通模式为“其它”。对于这些分别选择的模式而言样本量实在太少。两个样本的学校招生数据缺失，10个样本缺少家庭成员人数数据和汽车拥有量数据，导致人均汽车保有量不能够确定。舍弃这些样本是为了随后的分析中保持独立变量全部数据的完整性。

丢失样本量最大的原因是由于不知道家庭经济收入。这往往是在交通调查的样本中，很大一部分的受试者没有报告家庭收入。在排除家庭收入的影响后，我们原本可以将样本量保持在792个观测样本，但是为了更为完整的数据集我们选择了更少的样本量。从理论上讲，家庭收入对我们分析中的交通模式选择而言太重要了。依据一个实证研究的结果，家庭收入从其它解释变量包括汽车人均保有量等的独立性 ($r=0.11$) 意味着家庭收入对于该分析带来了一些独特的方面。81个样本由于缺乏收入数据而不得不被舍弃，但是只有3个样本是在步行或自行车的分类中。

由于一些样本的步行或自行车模式的预估交通时间超过了1小时，又额外地提出了两个样本(见下面的一个限制选择集的探讨)。在这两个异常的样本中，甚至在预估区间交通时间超过1小时的情况下该样本仍然选择了自行车模式。在其它的所有样本中，无论是选择步行或自行车模式，这些模式的预估交通时间都没有超过1小时。

所有变量在确定具有完整的数据集之前，有剩余的709条学校行程可以使用。我们尽可能对之前已经介绍的舍弃样本的系统误差进行检验。对比起初和样本量减少后的变量平均数，我们发现系统误差并没有很大的偏差。

表3最终样本的上学行程中报告的交通模式。

表4数据集中的独立变量列表以及它们的描述性统计

图3Gainesville两个高中的建成环境部分模式对比显示

表3最终样本的上学行程中报告的交通模式

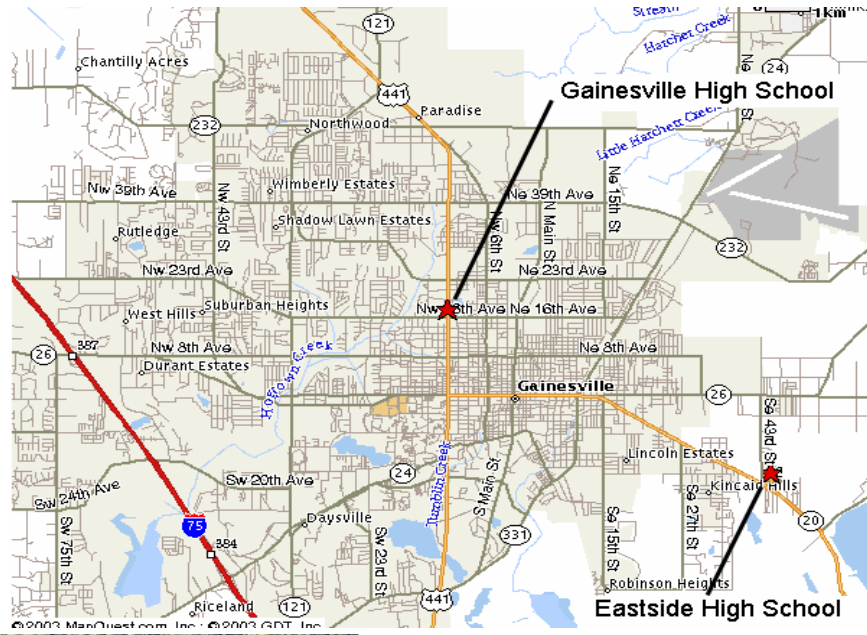
模式	计数
汽车	548
学校巴士	105
步行	32
自行车	24
总计	709

表4 数据集中的独立变量列表以及它们的描述性统计

变量	描述性统计			
	平均数	标准差	最小值	最大值
最短路径的交通距离	4.82	4.49	0.15	2.14
汽车出行的交通时间	11.78	7.99	2.5	48
步行出行的交通时间*	29.1	17.3	3	60
自行车出行的交通时间*	19.3	14.7	0.75	58.5
家庭成员的数量	4.08	1.23	1	9
家庭汽车的数量	2.45	0.99	0	8
家庭人均汽车的数量	0.631	0.271	0.2	2.67
家庭收入	62,221	31,444	12,500	130,000
驾驶证指标（1为学生有驾驶证；0为没有）	0.228	0.420	0	1
学校招生规模	895.8	750.2	71	2549
高中指标（1为学校是高中；0为不是）	0.231	0.442	0	1
学校交通分析区的总体密度	1905.3	1683.5	21.5	7569.2
其它交通分析区的总体密度	2208.5	3550.2	0	42796.3
学校交通分析区的居住-就业平衡性	0.458	0.284	0	0.950
其它交通分析区的居住-就业平衡性	0.353	0.295	0	0.998
学校交通分析区的就业混合度	0.499	0.388	0	0.993
其它交通分析区的就业混合度	0.536	0.361	0	0.998
学校交通分析区的商业FAR	0.138	0.216	0	1.277
其它交通分析区的商业FAR	0.165	0.275	0	1.629
学校交通分析区有自行车道或林荫道的街道英里数比例	0.380	0.364	0	1
其它交通分析区有自行车道或林荫道的街道英里数比例	0.372	0.362	0	1
学校交通分析区有人行道的街道英里数比例	0.743	0.345	0	1
其它交通分析区有人行道的街道英里数比例	0.582	0.391	0	1
学校交通分析区平均人行道宽度	4.49	1.30	0	7.00
其它交通分析区平均人行道宽度	4.03	1.83	0	7.17
学校交通分析区街道网络密度	10.11	4.49	2.69	21.24
其它交通分析区街道网络密度	9.69	5.28	0.63	34.97
学校交通分析区基于家庭其它出行的可达性指数	0.339	0.303	0.0007	1.000
其它交通分析区基于家庭其它出行的可达性指数	0.275	0.280	0.0003	1.000
学校交通分析区非基于家庭出行的可达性指数	0.485	0.283	0.0068	1.000
其它交通分析区非基于家庭出行的可达性指数	0.437	0.327	0.0011	1.000
学校交通分析区的步行友好型因子，计算方式为总体密度、商业楼层面积率、人行道覆盖率、人行道宽度和街道密度的权重和	0.097	0.394	-1.122	0.653
其它交通分析区的步行友好型因子，计算方式同上	-0.050	0.536	-1.183	1.828

*样本的限制条件为预估的交通时间不超过60分钟。

图3Gainesville两个高中的建成环境部分模式对比显示



出行抽样：
 汽车出行 38 (85%)
 步行出行 6 (13%)
 自行车出行 1 (2%)
 平均汽车出行长度：4.24英里

出行抽样：
 汽车出行 19 (100%)
 平均汽车出行长度：8.42英里

6 预估模型和结果

所有的多水平逻辑模型和嵌套逻辑模式型选择模式采用全信息最大似然比和LIMDEP/NL-OGIT软件进行预估。研究的学生群体中“通用选择集”包括了四种交通模式：汽车、学校巴、步行和自行车。

6.1 个体选择集

实际上，某些模式不可用于某些学生，他们的选择集必须进行限制。在我们样本的上学行程中，预估的步行时间高达488分钟，估计自行车的时间为122分钟。没有学生能够预估采用步行或自行车完成这么远的距离，因此，60分钟是这些模式预估交通时间的一个截点。那些预估时间超过60分钟这一截点的步行或自行车的选择模式将从数据集中剔除。在我们的样本中，数以百计的上学行程被限制为2到3种模式。然而，几乎所有的这些行程是通过汽车或学校巴士来完成，因此，从这些选择集中移除步行和/或自行车模式并没有明显的消耗过多的样本。对于这些个体，通过模型的预估对这些选择从可选择集中进行剔除。

应用于学校巴士的行程则出现了相反的结果。在“Alachua县学区”的学生总体上是居住在离学校两英里及以上的更长距离处，这需要学校巴士提供的服务。因此，起初在选择集中对少于两英里而选择学校巴士模式的样本进行了剔除。然而，这一限制后来被取消，原因是这样会丢失大量的样本量。一份“区域学校政策”表明，最短距离的归定在学生面临危险的步行条件或其它一系列原因时将会取消，取而代之的是居住在学校巴士行程旁而定性为巴士行程。

6.2 变量选择

汽车被视为最基本的模式。其它模式使用的建模成认为与汽车相关。当选择汽车作为基本的模式后，下一步是决定是否区域间预估的汽车交通时间作为汽车效用函数的唯一变量，作为有时选择模式建模时使用；或者，将汽车的使用设置为零，再在其它的方程中增加其它变量已达到类似的拟合优度。在传统的显著性水平0.05，没有模型能够显著提高汽车的交通时间（虽然有部分较为接近）。由于这原因，进行简单的解释，在我们最终的模型中瞄准了汽车的使用。

交通时间的预估包括了步行和自行车模式的效用函数。由于没有理由去假设步行或自行车的时间耗费具有相同的无效性，步行和自行车模式的交通时间系数进行独立预估，学校巴士的效用函数中忽略交通时间，因为这种模式缺乏对交通时间进行任何有效的预估。

所有社会经济水平、学校和建成环境变量的可能组合将作为步行、自行车和学校巴士模式效用函数的解释变量。只有对显著性预测水平达到0.05的变量进行了保留。

²³只有两个自行车行程超过了截点水平，剔除了该样本。没有步行行程超越截点水平，没有样本被剔除。

6.3 模型参数

通过7个变量拟合而成的最适拟合优度模型见表5。这些表格以不同的形式表现了相同的信息。在表5中，信度系数水平的t统计值表明了选择预测模型中的独立变量的效果。MNL模型的集合度是令人满意的。集合的似然对数为-415，而只在效用函数中的常数似然对数为-494。对于只有常数的模型，模型的pseudo-R²为[1 -(-425/-494)] 或0.14。

表6中，在模式选择预测上独立变量的边际效应表现为弹性预估，也就是随着一个独立变量的百分比变化而引起可能性的变化百分比。弹性预估经常被应用于有关交通的研究中，用来概述独立变量和交通行为结果之间的关系。该值表现为独立变量平均值的点弹性。

表7中表述的是模拟的结果。在每一个模拟中，总体上看一个独立变量的值都降低了25%。给定一个变量的新值，将计算出模式选择新的概率。样本模式选择的概率计算方式为概率的综合并乘以个体的数量。原始的模式份额和模拟的模式份额之间的差异，代表着这个变量变化的效果。

表5 学校巴士、步行和自行车，以及汽车作为基础模式的多水平逻辑模型参数

变量	巴士		步行		自行车	
	Coeff.	t-stat	Coeff.	t-stat	Coeff.	t-stat
常数	-1.054	-6.44	2.385	2.40	-1.301	-3.87
家庭年收入（千美元）			-0.0334	-3.33		
每户家庭汽车保有量			-4.570	-3.61		
驾驶证持有指数（1为个体有证；0为无）	-2.513	-4.23				
行程的步行时间（分钟）			-0.0527	-3.98		
行程的骑自行车时间（分钟）					-0.1504	-4.07
交通分析区中起点和终点的平均人行道覆盖			1.480	2.09		
交通分析区中起点和终点的基于家庭的其它 可及性	-1.130	-2.37				
限制的逻辑-似然						-982.9
只有常数的逻辑-似然						-493.9
集合的逻辑-似然						-425.4
pseudo-R ²						0.139
观察样本数量						709

表6 多水平逻辑模型的点弹性预估

变量	巴士	步行	自行车
家庭年收入（千美元）		-0.84	
每户家庭汽车保有量		-1.16	
驾驶证持有指数（1为个体有证；0为无）	-0.91		
行程的步行时间（分钟）		-0.66	
行程的骑自行车时间（分钟）			-2.63
交通分析区中起点和终点的平均人行道覆盖		0.42	
交通分析区中起点和终点的基于家庭的其它可及性	-0.31		

表7 每一个独立变量25%的变化下的基础模式份额/模拟模式份额

变量	变化	汽车	巴士	步行	自行车
家庭年收入（千美元）	-25%	77.3/76.2	14.8/14.6	4.5/5.9	3.4/3.2
每户家庭汽车保有量	-25%	77.3/75.8	14.8/14.5	4.5/6.5	3.4/3.2
驾驶证持有指数（1为个体有证；0为无）	-25%	77.3/76.5	14.8/14.7	4.5/5.5	3.4/3.3
行程的步行时间（分钟）	-25%	77.3/76.5	14.8/14.7	4.5/4.5	3.4/4.4
行程的骑自行车时间（分钟）	-25%	77.3/77.9	14.8/14.9	4.5/3.7	3.4/3.5
交通分析区中起点和终点的平均人行道覆盖	-25%	77.3/76.5	14.8/15.7	4.5/4.5	3.4/3.4

6.4 交通时间的影响

正如预期，上、下学途中步行或自行车所需的交通时间越少，学生就越有可能选择步行或自行车上学。对于相关因素中，很清楚的是选择自行车模式对交通时间尤其敏感；-2.63的弹性值意味着学生在是否选择自行车时，甚至交通时间稍微有所增加就有可能会出现相反的结果。而步行的预测可能性对于交通时间就没有那么的敏感，但也存在显著性的影响作用。在模拟模式中，全体变量当交通时间均减少25%时（或者平均为21.8分钟）将导致步行模式份额增加1.0%，在我们的样本中的学校出行则为4.5%到5.5%。自行车时间下降25%将导致自行车份额增加1.0%，在我们样本中的学校行程则为3.4%到4.4%。换成另外一种方式，如果平均步行时间下降25%（类似的距离范围从1.5英里到1.1英里），对于每100个学生，将增加1个及以上的学生步行上学。

这些变化看起来是小，但是从小开始，它们却表示出增加较大的百分比：从3.4%到4.4%即意味着自行车模式份额增加29%。结果表明，在学生选择步行或自行车可能性具有更高的显著性水平之前，他们需要居住在离学校较小的地方。一个学校的规模究竟可以有多大情况下选择步行或自行车仍然在很大程度上取决于邻里社区的密度。当然，这一结果总体上表明相比于在较大区域招生的学校，区域范围较小的邻里学校的学生选择步行和自行车的概率更高。

6.5 建成环境的影响

对于一些建成环境变量，主干道和分枝的街道沿路设有人行道对步行起着最为显著的影响。起点区域和终点区域间的人行道覆盖率值与步行出行高度相关，在同一个效用函数中均排除两个变量的使用。相反，取起点区域和终点区域建的人行道覆盖率值的平均值，而平均值则用来作为解释变量。相对应于平均人行道覆盖率，学生选择步行去上学的可能性弹性系数为0.42。在模拟模型中，当人行道覆盖率全都降低25%时，将导致步行模式份额下降0.8%，样本行程的4.5%下降到3.7%。

有意思的是，建成环境对于自行车没有显著的影响。甚至主干道和分枝的街道设有自行车道和铺有林荫道也无显著性影响。在欠发达的区域，主干道和分枝街道铺有林荫道的量较少，所以这个特定的变量不能够很好地反映区域的自行车友好性。

其中一个变量—基于家庭其它行程的区域可及性—与学校巴士的使用相关。地址的可及性越好，相比于其它模式学校巴士的吸引力也就越小，还包括了汽车。学校巴士或许是一种父母最后选择的服务模式，是当父母在由于家和学校之间过远的距离而他们自身不能够骑自行车的情况下的一种选择。而对于人行道覆盖，基于家庭的其它可及性相关的起点和终点区域，以及因此取平均值来创建一个单一变量来反映无论起点和终点的条件。对于平均的区域可及性，采用学校巴士的可能性的弹性系数预估为-0.31。在模式的模拟中，当区域可及性全都降低25%时，将导致学校巴士模式份额增加0.9%，样本学校行程从14.8%上升到15.7%。

6.6 社会经济影响

相比于使用汽车、学校巴士或自行车，来自收入较高和人均车辆较多家庭的学生步行的可能性更小。步行的可能性与家庭人均车辆数相关性最强，弹性为-1.16。相关性的强度稍低的是家庭收入，弹性为-0.84。为什么更高的车辆可使用性将使得步行的吸引力要低于汽车的使用的原因是很显然的。而为什么更高的车辆可使用性将使得步行的吸引力要少于其它模式，或者为什么更高收入有着独立于车辆可使用性的效果的原因就不那么明显了。这两个变量的个体和共同都会对模式的选择具有足够强烈的影响，对步行行程的效用将超过其它因素，如上下学较短的路程。

持有驾驶证的学生相比于其它学生选择学校巴士的可能性更小。这是有一定道理的，在他们达到驾驶年龄前，住在离学校太远的学生步行或自行车上学会受到犯罪安全隐患的影响，因此他们乐于选择学校巴士。在他们达到驾驶年龄时，如果当家庭经济条件允许的时候，面对社会犯罪的安全隐患，他们可以自己开车上下学。

6.7 省略的变量

不同变量的效用函数明显没有使用的是学校变量。在控制家和学校之间交通时间后，学校招生数没有提供显著的效用。规模更大的学校可能会招收来自更大区域的学生，这增加了交通时间因此间接影响了模式的选择。但是学校规模对模式的选择没有表现出直接的影响。

同时没有进入效用函数的是土地利用变量诸如密度和混合度。交通行为的文献中强调了这些变量在交通决策中的重要性。但是本研究表现的并不是很明显，这是否是因为学校行程差异造成的。一方面，它们往往没有和其它活动相关联，由此降低了对其它土地利用特征的需要程度。它们是被强制性的，因此使得相比于娱乐性步行，步行环境对上学步行的重要性相对较低。也包括了他们的孩子，它们相比于成年人对步行环境敏感性要低。另外一方面，土地密度和混合利用对步行选择的影响，通常是在距离更近的目的地区域所测得的作用更明显，因为距离近降低了交通时间。**而对于学校规模，考虑到土地混合利用和密度数据的不足，它可能在控制交通时间后，这种情况下任何额外的影响都不足以强有力地建模。**

7 环境的影响

交通行为会对环境质量造成重要影响，尤其是空气质量。因此，最后一步我们对不同的学校选址对影响上学出行选择，进而对废气排放造成的影响。一份废气排放影响的分析必须要问“与什么相比”，这一问题的典型观点包括了一个“建立/不建立”的对比或“在这里建立/在哪里建立”的对比，这种情况下两者都是严格地相关。全国范围来讲，许多学校将要新建或翻修，尽管在许多个别地方有一些特定的新建/翻新案例，但还没有出现无新建/翻新案例的情况。与此类似，在全国范围内尽管有也将会许多个别的地方出现学校区域“建在这里/建在那里”的情况，对于这种案例研究的实施将会超越本文的领域。相反，我们用两种方式描述了学校位置和建成环境对废气排放的影响。首先，我们对在Gainesville地区抽样的两所学校的废气排放进行了预估。而这一描述没有构成一个“建在这里或建在那里”的案例研究，它对描述已有现成数据可以使用的两所学校的位置和建成环境的影响是非常有用的。其次，我们使用最适的逻辑模型来模拟Gainesville两所样本学校和一所可替代的邻里学校组合间的交通和废气排放的差异。我们相信，这两种描述将会相互支持。

7.1 Gainesville两所抽样学校的废气排放

在第4章节中，我们给的例子是两所高中。一所学校是Gainesville高中，它坐落在中心，四周是建成区环绕。另外一所是Eastside高中，座落在城市区域的边缘，未完全开发的地域中。我们的样本中，Gainesville高中的模式分配为汽车85%、步行13%和自行车2%。Eastside高中的模式分配为100%使用汽车。假如Eastside高中的模式分配和交通行程长度匹配到Gainesville会怎么样了？我们强调这一例子的代表性，我们不建议这两所学校在其它方面的完全一致。

对于每所学校:

汽车: 去学校路程的平均距离乘以每英里全国平均汽车尾气排放量 (2002年数据)。我们假设一个儿童一辆车。考虑到交通数据的不足, 没有尽可能地单独对拼车出行进行分析。取而代之的是, 拼车出行都归纳到了其它汽车出行这一类中。来源: 来自MOBILE62002全国数据, 使用的是2002年混合轻排量尾气的数据。

学校巴士: 对于问题中的两所学校, 我们的样本没有包括学校巴士的行程。同时明确的是每所学校都有巴士行程。举这种情况的目的是我们没有计算学校巴士的废气排放量。这种情况对有效性的影响见下面的讨论之中。

招生规模: Gainesville高中: 1914, Eastside高中: 1739.

我们只对招生量更大的Gainesville高中进行了归一化处理。

计算的方式为:

$$\text{招生量} \times \text{汽车份额} \times \text{平均行程距离} \times (\text{废气排放量} \cdot \text{英里}^{-1}) \times (2 \text{次行程} \cdot \text{天}^{-1}) = \text{废气排放量} \cdot \text{天}^{-1}$$

表8: 两所高中上下学的交通排放量

	模式		行程距离	每天的排放量 (克)			
	汽车	非汽车	平均开车距离 (英里)	VOC	CO	NOx	CO ₂
Gainesville	85%	15%	4.24	15,472	191,931	12,894	5,936,186
Eastside	100%		8.42	36,147	448,408	30,123	13,868,670
Gainesville/ Eastside	1.18		1.98	2.34	2.34	2.34	2.34

小样本量限制了进行归纳的可行性, 可以观察到的一点是:

- 1、与Gainesville的学生相比, Eastside的抽样学生中无论是更远的开车行程还是更高的汽车模式份额都会造成更高的废气排放量 (超过了两倍)。
- 2、在Eastside的抽样学生中, 更远的开车行程距离要比更高的汽车模式份额对汽车废气的排放量的贡献度更高。

本研究中这一简单的抽样造成不足的方面较多。我们不能够计算学校巴士和拼车的情况, 起码这两方面也应该有对汽车废气排放水平产生微小的影响。两所学校的学校巴士和拼车模式的份额较小, 对于处于郊区的Eastside高中, 每种模式的行程相对要更长一些。使用MOBILE的平均每英里废气排放量会低估那些较短距离行程相关的废气排放量, 这种低估的情况在Gainesville高中更为显著, 因为这里的学生汽车行程较短。然而, 对于两所学校许多学生的汽车行程是父母接送他们, 这是与之相关的更长距离的父母行程中的一部分。而对于这些行程, 废气排放量的估计应该是可靠的。

过渡到下一水平的分析, 需要知道一些有关学校巴士行程距离和每辆巴士的载荷量的一些情况, 而对于个别学校以及拼车份额数据的获取较为困难, 需要通过其它调查方式获得。

7.2 邻里学校废气排放量的模拟

学校的位置影响交通模式的选择，进而对汽车废气排放量产生影响的第二种描述的方式则是通过模拟的方法。使用最适逻辑模型，我们对一个邻里学校和可步行街道的情境进行了选择模式的模拟，并对Gainesville抽样学校的实际选择模式进行了对比。在邻里学校情境中，步行去学校的时间设置在10分钟，与之对应的半英里行程的速度为3英里/小时。骑自行车去学校的时间设置在2.5分钟，与之相对应的半英里行程的速度为12英里每小时。所有的主干道和分枝街道均假设有人行道，提高人行道的覆盖率达到统一的1.0，所有其它变量保持在它们基础值的常数。

选择模型的结果见表9。步行和自行车时间的减少，以及人行道覆盖率的增加导致模式份额的显著增加。学生步行去学校的比例增加了两倍还多，从所有行程的4.5%增长到了10.3%。骑自行车去学校的学生几乎增长了3倍，从所有行程的3.4%增长到了11.1%。综合而言，非机动车模式从7.9%增长到了21.4%。这些结果与之前在章节5.4中的模拟结果一致；Gainesville数据的平均步行和自行车次数实在太高，甚至降低25%也不会给临近学校的孩子在数量上带来实质性的影响。然而，随着邻里学校情境内部交通时间更大的变化，我们发现了显著的变化。Gainesville学生的交通文献，揭示了他们目前的交通选择，如果交通距离适宜的话，将有较为客观的步行和自行车量。

表9 邻里学校的基础模式份额、模拟的模式份额和模式份额变化

变量	基础模式份额	模拟的模式份额	模拟/基本
汽车	77.3%	66.0%	85%
学校巴士	14.8%	12.7%	86%
步行	4.5%	10.3%	229%
自行车	3.4%	11.1%	326%

注：由于四舍五入，值的总和可能不等于100%。

为了预估这些变化对废气排放量的影响，我们使用了学校巴士平均行程距离的全国水平的值（6.8英里，1995NPTS）以及承载学生数25人。学校巴士废气排放量也使用的是MOBILE6的全国平均值。Gainesville的汽车平均行程距离设置在4.82英里。最后，我们假设一个邻里学校的的招生数量为400人，然而这一假设使得最后的结果没有差异。

废气排放量的预估是基于这样一套交通结果的假设一半英里的步行或自行车距离，平均4英里的汽车行程，平均7英里的学校巴士行程—虽然我们没有任何一个特定的严格模型²⁴，但与一系列的紧凑型发展的模式保持了一致。

²⁴最为典型的是佩里的“邻里单位”，它明确学校位于邻里社区的中心。参考：佩里，邻里和居住区中规划中的“邻里单位”，Volume VII of The Regional Survey of New York and Its Environs, 1929。

表10 基础模式和邻里学校模拟模式的废汽排放量的标准

	排放量/天, 克			
	VOC	CO	NOx	CO ₂
抽样平均量	3,907	43,202	13,043	2,599,545
模拟量	3,338	36,894	11,180	2,225,186
模拟量/平均抽样量	0.85	0.85	0.86	0.86

模拟的邻里学校废气排放减少了14%到15%。减少量并不统一，这是因为学校巴士和私家车不同的排放量有关。

然而，由于假设学校巴士和汽车行程的距离混合，这种模拟有可能明显地低估了废气排放的变化。也就是说，尽管我们模拟了步行和自行车较短的行程距离，但我们对机动车模式并没有这样做，这正如章节5.2中所解释的那样，汽车和学校巴士的交通时间并没有进入这一特定的选择模型。作为结果，不同情境间的废气排放量的差异并不像Eastside 高中和Gainesville高中那样非常的显著。因为高中学校间的差异大部分来自较短距离的汽车行程。

不考虑汽车和学校巴士的行程距离对于邻里学校的较小行程集合来说可能会高估了土地利用类型的变化对非机动车的影响。另外一方面可能的目的是对选择模型的规范。汽车和学校巴士可能是默认的交通模式，对交通时间相对不太敏感。缩短步行和自行车行程可能仅仅使得这些模式在更高比例的行程中可行。

本文的目的是为了检验邻里学校对废气排放的影响，然而，这一分析将可能的尺寸差异低估了一个层次。如果将汽车和学校巴士的距离引入到分析中，从当前模拟结果中模式份额的任何变化将会通过减少行程距离来抵消废气排放量，这样增强了邻里学校相对于基础案例在废气排放量上的优势。

正如预期那样，这两种描述互相支持。邻里学校的模拟包括了学校巴士的废气排放和对全体样本的利用。它提供了不同的学校位置和建成环境对废气排放影响的最为可靠的预估。然而，由于模型的结构，使得不能够考虑去学校的较短的汽车行程以及可能低估了邻里学校的优势。对于两个学校的对比，尽管是基于较小的样本量而没有包括任何的学校巴士行程，再加上汽车行程距离显著影响废气排放这一非常重要的信息：首先，汽车行程距离在不同位置的学校和建成环境间没有被混淆；其次，位置和建成环境的差异进而导致的汽车行程距离的变化能够产生两所学校间废气排放的主要差异。

8 结论

根据美国教育部的数据，从2000年到2006年，学生招生量预期增加100万左右。此外，一些较老的和具有历史性的学校需要达到现代教育和技术的要求。为了达到这一招生需要，居住区将需要新建学校和翻新较老和具有历史的学校。居住区越来越认识到与新建和翻修的学校大小、设计和位置的学区决策对于居住区的教育、环境和身体健康，以及居住区特征、交通拥挤、和邻里社区的生命力具有显著的影响。与此相对应的是一些州和居住区在寻找各种途径让学校保留在他们的社区中，临近学生住所和服务他们的居住区。今后，居住区面对的甚至不是学校建设的问题，而是增加关注步行或自行车上学的比例降低的问题。基于此，本研究的目标是给居住区提供一些上学交通方式的干预信息。

8.1 学校位置与建成环境的问题

本研究的结果表明了学校位置 and 家与学校间建成环境的质量如何影响学生的上学方式。作为结果，学校的选址更靠近学生住所将可以改善公共健康，不仅在于使得学生更为活跃，也减少了公共交通和汽车的废气排放。改善学校周边以及学校与家之间的建成环境质量将会降低开车的概率，改善环境质量。

学校建在更靠近学生住所、适宜步行的邻里社区里，可以称为是“邻里学校”。我们对我们所抽样的学校和现有的学校的对比进行总结，邻里学校将降低公共交通，产生步行和自行车比利的增加13%，降低让人忧心的废气排放量至少15%。一些州和地方政府开始考虑到学校位置对健康和环境的影响，我们希望这份研究是许多努力的开始，来增加我们理解学校的位置和设计能够支持教育、公民、健康和环境的目标。

8.2 更多的研究将会帮助居住区更好地理解如何进行工作

本研究也指出取得这些效果需要更多的研究。为了提高理解上学交通的决策制定和影响。而提高需要在这些决策的概念建模和可用于同时进行检测和改进模型的数据。本报告之前的一些章节和其它描述需要将来进一步的详细研究。

正如之前在第4章节中描述的那样，本研究从多个数据源组合了数据。模式选择的观察量来自家庭采访调查即先前一直实施的一般交通规划目的。作为结果，学校行程的数量对于本分析较为充分，将不提供进一步的更为详细的分析。一份特定目的的调查，或者在其它调查中强调这一群体，将会对今后的研究有所帮助。这些调查将可收集有关学生和家庭特征更为详细的信息，也包括了他们对于上学交通所作出的选择。例如，父母双方的工作了解了吗？可以使用学校巴士吗？在家庭的兄弟姐妹里，是否年纪较大的可以和年纪较小的一起步行到共同的学校？

此外对于交通数据，实体环境的详细描述需要现有的模型发展。本研究使用的数据可以在或聚集在交通分析区中（或称TAZ），一个TAZ是典型的一个大面积区域和不支持详细的街道网络和其它土地利用信息，需要传达一些决策影响因素到选择模型。一些大城市区域已经显著地升级了他们详细的土地利用数据库。在将来的研究中，这些信息可以被用来对学生和他们家庭的交通影响因素进行更好地描述。

如本报告的2和第3章节中所描述的那样，居住区的交通规划并没有对交通决策过程影响上学交通形成全面的理解。本研究提供了一种理解这种要素的可能，用一个简单的逻辑模型来描述模式的选择。像在章节2.2中描述的嵌套逻辑模型结构，或许可以捕捉什么是一个更好的嵌套决策制定的过程，但需要获取更深入的样本。进一步的研究应该形成更为综合的框架，结合一系列的相关选择以及影响这些选择的影响因素。例如：

- 家长的工作和学校状况如何影响上学交通模式的选择？
- 谁在真正地做出决策？
- 年纪较小的和年纪较大的学生采用相同的方式做出决策吗？

无论其它的研究结果如何，本研究的结果扎实地表明，当前采用的改善学生步行环境的行动，以及支持居住区希望学校座落在邻里社区中，将会导致学生步行和自行车上学比例的增加。这一效益将可以增加到其它文献所发现邻里学校的效益中去。

United States Environmental Protection Agency
Development, Community, and Environment Division (1808T)
EPA 231-R-03-004
September 2003



Recycled/Recyclable
Printed with Vegetable Oil-Based Inks on Recycled Paper
(Minimum 50% Postconsumer) Process Chlorine Free